

Plano para reciclagem agrícola do lodo do tratamento dos efluentes de uma indústria farmacêutica

Juliana Mariano de Lima

2012.1

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

Juliana Mariano de Lima

**PLANO PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DO
TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA
FARMACÊUTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.
Orientador: Prof., Dr. Fernando Soares
Pinto Sant'Anna

Florianópolis
2012

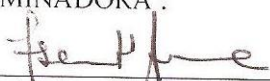
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**PLANO PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DO
TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA
FARMACÊUTICA**

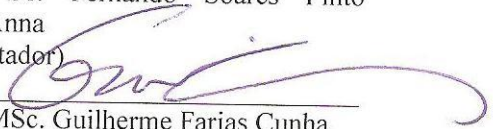
Juliana Mariano de Lima

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II.

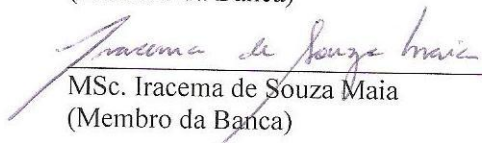
BANCA EXAMINADORA :



Prof. Dr. Fernando Soares Pinto
Sant'Anna
(Orientador)



Prof. MSc. Guilherme Farias Cunha
(Membro da Banca)



MSc. Iracema de Souza Maia
(Membro da Banca)

Florianópolis, (SC)
Agosto/2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**PLANO PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DO
TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA
FARMACÊUTICA**

Juliana Mariano de Lima

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA :

Prof. Dr. Fernando Soares Pinto
Sant'Anna
(Orientador)

Prof. MSc. Guilherme Farias Cunha
(Membro da Banca)

MSc. Iracema de Souza Maia
(Membro da Banca)

Florianópolis, (SC)
Agosto/2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Vergílio e Neusa, a base da minha educação. Obrigada pelo apoio, incentivo e força em todos os momentos e decisões da minha vida. Vocês são os principais responsáveis por minhas conquistas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, pela orientação, pelo aprendizado e pela atenção dedicada ao meu trabalho. Obrigada também pelas conversas e conselhos, os quais seguirei sempre em minha vida profissional.

Gostaria de agradecer também à indústria farmacêutica estudada, pela disponibilidade para a realização do meu trabalho. Em especial ao Dr. Raul, pela sugestão do tema pelo qual desenvolvi grande interesse com a realização dessa pesquisa. Ao Josley, pelo auxílio, disponibilidade e pelos ensinamentos práticos. Sou grata também ao Paulo, Rodrigo, Jizéli, Luzinete e todos os outros colegas que também estiveram envolvidos durante a realização desse estudo.

Também agradeço ao Dr. Cleverson V. Andreoli pela atenção, esclarecimento de dúvidas e fornecimento de materiais indispensáveis para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

Aos meus irmãos, Frederico e Vinícius, meus exemplos.

Por fim, aos amigos, pela amizade, apoio e compreensão.

RESUMO

A gestão do lodo do tratamento de efluentes industriais representa um grande problema de âmbito mundial e vem se agravando devido ao acelerado processo de industrialização, à diversificação do parque industrial e à vasta gama de resíduos gerados. O destino final do lodo é a última etapa do sistema de tratamento, sendo sua prática adequada a garantia da conclusão bem sucedida do sistema. Entre as várias técnicas de destinação final, o uso agrícola é uma das mais convenientes. Além da economicidade e adequação ambiental, quando atendidos determinados critérios, o lodo é rico em matéria orgânica e em nutrientes, sendo recomendada sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante. No entanto, apesar dos benefícios, o lodo pode conter componentes indesejáveis como metais pesados, poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos. Portanto, sua utilização agrícola deve ser realizada somente se existir um controle eficiente sobre sua estabilidade e o conteúdo de contaminantes. Este trabalho teve como objetivo elaborar um plano para reciclagem agrícola do lodo proveniente do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria farmacêutica. Para avaliar a viabilidade ambiental e jurídica da utilização agrícola do lodo em estudo realizaram-se diagnósticos do processo produtivo, da geração de efluentes, do sistema de tratamento e da geração e tratamento do lodo da indústria em questão. Além disso, foi feita uma análise da viabilidade econômica da implementação deste plano. Não foi possível a comprovação da adequação ambiental do lodo em estudo, uma vez que essa deve ser atestada por meio de análises laboratoriais de qualidade. Não há, atualmente, legislação para uso agrícola de lodo industrial, sendo escassas as informações quanto aos efeitos dos medicamentos e outros compostos farmacêuticos nos efluentes e no meio ambiente. Dessa forma, necessitam-se mais estudos quanto à presença e à concentração de componentes no lodo que podem ser perigosos e tóxicos. Quanto aos fatores econômicos, para a indústria em questão, essa técnica é viável.

Palavras-chave: Lodo; reciclagem agrícola; biossólido.

ABSTRACT

In industrial wastewater treatment, the sludge management represents a global problem. It has been worsening due to the accelerated industrialization process, diversification of the industrial park and the wide range of waste being generated. The final destination of the sludge is the last step of the treatment system. The choice of a proper destination guarantees the successful completion of the system. Among the various techniques of disposal, agricultural use is one of the most convenient. Under the perspective of economy and environmental suitability, the sludge contains the ideal properties for the employment in soil conditioner and fertilizers, since it is rich in organic matter and nutrients. However, despite the benefits, the sludge may contain undesirable components such as heavy metals, organic pollutants and pathogens. Its use in agriculture should be performed only if there is an efficient control over its stability and the presence of contaminants.

The objective of this research was to elaborate a sludge agricultural recycling provided by the wastewater treatment system of a pharmaceutical industry. To evaluate the environmental and juridical viability of slurry agricultural usage in study, diagnosis of the productive process, wastewater generation, treatment system and the sludge's generation and treatment of the industry in question were performed. An economic viability analysis was accomplished as well.

About the studied slurry, it was not possible to prove its environmental adaptation, since this is supposed to be confirmed through laboratory quality analysis. There is no legislation for agricultural and industrial sludge. Moreover, the information about the effects of drugs and other pharmaceutical compounds in effluents and the environment is scarce. As the studies reveal, more research is needed in this domain, especially regarding the presence and concentration of components in the sludge, that can be hazardous and toxic. Finally, regarding economic factors, the technique is feasible for the aimed industry.

Keywords: Sludge; agricultural recycling; biosolid.

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	23
2	OBJETIVOS	25
2.1	Objetivo Geral	25
2.2	Objetivos Específicos	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
3.1	A Indústria Farmacêutica.....	26
3.2	Origem, natureza e quantidade dos despejos industriais farmacêuticos	28
3.3	Tratamento de efluentes industriais	29
3.3.1	Processos de oxidação biológica	30
3.3.2	Processos Oxidativos Avançados	31
3.4	Lodo de tratamento de águas residuárias.....	32
3.5	Disposição final do lodo	33
3.6	Uso agrícola do lodo.....	34
3.6.1	Características de interesse agrônômico.....	35
3.6.2	Componentes Indesejáveis	36
3.7	Tratamento de lodo para reciclagem agrícola.....	38
3.7.1	Processos usuais de tratamento de biossólidos.....	38
3.8	Legislação.....	39
3.8.1	Legislação sobre biossólidos	39
3.8.2	Legislação de resíduos sólidos	40
3.9	Planejamento da utilização agrícola de biossólidos.....	42
3.9.1	Planejamento Preliminar	42
3.9.2	Organização da distribuição	49
3.9.3	Operação da distribuição	52

4	MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1	Local de trabalho.....	54
4.2	Planejamento da utilização agrícola de bio sólidos	56
5	RESULTADOS E COMENTÁRIOS	57
5.1	Processo produtivo da Empresa	57
5.2	Origem, natureza e qualidade dos despejos.....	58
5.3	Descrição do processo de tratamento de efluentes	61
5.4	Caracterização da produção de lodo.....	64
5.5	Análise de viabilidade	68
5.5.1	Projeto Agrônômico	68
5.5.2	Transporte	70
5.5.3	Custos com distribuição e incorporação.....	70
5.5.4	Análises e monitoramento.....	71
5.5.5	Custos totais para o uso agrícola do lodo de esgoto.....	71
5.5.6	Avaliação de viabilidade	73
6	CONCLUSÕES	75
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	ANEXO I – PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM ESTUDO	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma genérico simplificado do processo de formulação farmacêutica.	28
Figura 2. Mapa de aptidão das terras do Paraná para disposição final de lodo de esgoto	46
Figura 3. Região Oeste do Paraná	54
Figura 4. Fluxograma das etapas genéricas da produção de medicamentos e da geração de efluentes.....	59
Figura 5. Fluxograma da ETEI.....	63
Figura 6. Etapas de geração e transferência de lodo.....	66
Figura 7. Calculadora do cidadão.....	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Fatores relevantes na decisão do meio de transporte.....	51
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Avaliação da biodegradabilidade de alguns fármacos.....	29
Tabela 2. Substâncias inorgânicas a serem determinadas e concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto	43
Tabela 3. Substâncias orgânicas a serem determinadas e concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto	44
Tabela 4. Lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos..	45
Tabela 5. Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas	48
Tabela 6. Frequência de monitoramento da qualidade do lodo.	52
Tabela 7. Divisão das principais atividades da Empresa.....	55
Tabela 8. Caracterização do efluente industrial bruto	60
Tabela 9. Produtos químicos utilizados na ETEI	63
Tabela 10. Avaliação da biodegradabilidade do efluente.....	64
Tabela 11. Custos iniciais.....	69
Tabela 12. Custos de execução do projeto agrônômico	69
Tabela 13. Investimentos iniciais na implementação do plano para reciclagem agrícola	72
Tabela 14. Gastos mensais com a execução do plano	72
Tabela 15. Resumo da viabilidade econômica do plano	73

1 INTRODUÇÃO

A gestão do lodo gerado no tratamento de efluentes industriais e sanitários representa um grande problema de âmbito mundial e vem se agravando devido ao acelerado processo de industrialização, à diversificação do parque industrial e à vasta gama de resíduos gerados, aliado ao elevado crescimento demográfico.

O destino final do lodo é a última etapa do sistema de tratamento, sendo sua prática adequada a garantia da conclusão bem sucedida do sistema. Sem a correta destinação do lodo, todo o investimento na implantação e operação de uma ETE, bem como os benefícios ambientais e sanitários, ficam comprometidos, tendo, entre outras consequências, a degradação dos recursos naturais e alterações na saúde da população (PEGORINI, 2002).

Existem várias técnicas de disposição final ou aproveitamento do lodo, tais como: disposição em aterro sanitário, incineração, recuperação de solos, *landfarming*, uso florestal e agrícola, etc. Dentre essas, o uso agrícola se destaca como uma das mais convenientes, pois, além do custo reduzido, o lodo é rico em matéria orgânica e em nutrientes para as plantas, sendo recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e/ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), geralmente o lodo de esgoto possui as quantidades de nutrientes suficientes para as culturas, porém nem sempre de maneira equilibrada e em formas disponíveis em to prazo. Além disso, pode apresentar em sua composição metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem, poluentes que merecem muita cautela. Sendo assim, para evitar impactos ambientais negativos e obter os benefícios agrônômicos desejados, deve-se analisar a composição química dos lodos, assim como a dinâmica dos nutrientes após aplicação no solo.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define reciclagem como um processo de transformação dos resíduos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Portanto, a disposição agrícola de lodo pode ser entendida como uma alternativa de reciclagem, uma vez que pode transformar um resíduo problemático e de difícil disposição em um insumo agrícola.

Dessa forma, a importância deste trabalho pode ser legalmente justificada, uma vez que o princípio I do Art 3º da Lei de Resíduos do Paraná, de 22 de janeiro de 1999, estabelece: “a geração de resíduos sólidos deverá ser minimizada através da adoção de processos de baixa

geração de resíduos e da reutilização ou reciclagem, dando prioridade à reutilização e/ou reciclagem a despeito de outras formas de tratamento e disposição final, exceto nos casos em que não exista tecnologia viável”.

Além disso, este encaminhamento pode representar uma alternativa de baixo custo e ambientalmente adequada. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é elaborar um plano para reciclagem agrícola do lodo proveniente do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria farmacêutica. Pretende-se, com isso, realizar uma avaliação prévia da adequação ambiental do lodo em estudo para a aplicação na agricultura, bem como a viabilidade jurídica e econômica da implementação do plano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral elaborar um plano para reciclagem agrícola do lodo do tratamento dos efluentes de uma indústria farmacêutica.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Diagnosticar o processo produtivo da Empresa e a geração de efluentes;
- Descrever o processo de tratamento dos efluentes da Empresa;
- Diagnosticar o processo de geração e tratamento do lodo;
- Analisar a viabilidade econômica da implementação do plano.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Indústria Farmacêutica

A Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE) se trata de um instrumento cujo objetivo é a padronização dos códigos de atividade econômica e dos critérios de enquadramento utilizados pelos diversos órgãos da Administração Tributária do país. A CNAE é resultante de um trabalho conjunto das três esferas do governo, elaborada sob a coordenação da Secretaria da Receita Federal e orientação técnica do IBGE (BRASIL, 2012). Por este instrumento, a classificação é feita em cinco níveis hierárquicos: Seção, Divisão, Grupo, Classe e Subclasse.

Segundo essa classificação, a indústria farmacêutica se enquadra na Seção C (Indústrias de Transformação), Divisão 21 (Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos), Grupo 212 (Fabricação de Produtos Farmacêuticos), composto pelas seguintes classes e subclasses:

Classe 2121-1: Fabricação de medicamentos para uso humano

Subclasse 2121-1/01: Fabricação de medicamentos alopáticos para uso humano;

Subclasse 2121-1/02: Fabricação de medicamentos homeopáticos para uso humano;

Subclasse 2121-1/03: Fabricação de medicamentos fitoterápicos para uso humano.

Classe 2122-0: Fabricação de medicamentos para uso veterinário

Subclasse 2122-0/00: Fabricação de medicamentos para uso veterinário.

Classe 2123-8: Fabricação de preparações farmacêuticas

Subclasse 2123-8/00: Fabricação de preparações farmacêuticas.

A fabricação de medicamentos é regulamentada pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária nº 210 de 04 de agosto de 2003, que determina o cumprimento das diretrizes estabelecidas no Regulamento Técnico das Boas Práticas para a Fabricação (BPF's) de Medicamentos, presente na Resolução, a todos os estabelecimentos fabricantes de medicamentos.

O cumprimento das BPF's tem a função de assegurar que os produtos sejam consistentemente produzidos e controlados, com padrões de qualidade apropriados para o uso pretendido e requerido pelo

registro, estando dirigido primeiramente à diminuição dos riscos inerentes a qualquer produção farmacêutica, os quais não podem ser detectados através da realização de ensaios nos produtos terminados. Os riscos são constituídos essencialmente por contaminação cruzada, contaminação por partículas e troca ou mistura de produto.

De acordo com Netto (2002), a indústria farmacêutica envolve uma ampla gama de processos e tecnologias complexos, compreendendo os seguintes segmentos metodológicos:

- Pesquisa e desenvolvimento: incluem as pesquisas química, fitoquímica, agrônômica, microbiológica, farmacológica e clínica para o desenvolvimento de novos medicamentos.
- Síntese orgânica: consiste na produção de drogas sintéticas, utilizando-se um ou mais reatores numa série de reações químicas, seguidas de etapas de separação e purificação para a obtenção do produto final desejado.
- Extração de produtos naturais: produção de farmoquímicos a partir de matérias-primas naturais, como raízes, folhas, frutos e glândulas de animais.
- Fermentação: produção de esteróides, vitamina B12 e antibióticos, etc., a partir de processos fermentativos, consistindo em duas etapas principais: inóculo e preparação da sementeira e fermentação, seguida de isolamento e purificação do produto.
- Formulação: preparação de produtos apresentados em doses, tais como comprimidos, cápsulas, líquidos, injetáveis, cremes e pomadas. A figura 1 representa um fluxograma genérico simplificado do processo de formulação farmacêutica.

Figura 1. Fluxograma genérico simplificado do processo de formulação farmacêutica.



Fonte: Adaptado de Netto (2002).

3.2 Origem, natureza e quantidade dos despejos industriais farmacêuticos

Os efluentes gerados nos diferentes processos produtivos da indústria farmacêutica possuem características distintas e quantidades variadas. Em geral, as águas residuárias da etapa de formulação são o somatório dos resíduos dos princípios ativos farmacêuticos, excipientes, corantes e solventes, além dos intermediários de degradação, sendo resultantes da limpeza e esterilização dos equipamentos e das áreas produtivas, de

derramamentos e vazamentos. Geralmente apresentam baixos valores de DBO, DQO, SST e pH entre 6 e 8 (U.S. E.P.A, 1997).

A formulação de antibióticos pode gerar efluentes com baixa biodegradabilidade, levando à acumulação e à persistência desses compostos no meio ambiente, uma vez que devem manter suas propriedades químicas o tempo suficiente para atuarem no tratamento terapêutico (VASCONCELOS, 2011). Além disso, podem levar à inibição da atividade dos sistemas biológicos de tratamento, exercer efeitos tóxicos a organismos aquáticos e desenvolver cepas bacterianas multirresistentes (BALCIOGLU; ÖTKER, 2003 *apud* ALMEIDA *et al*, 2004). A tabela 1 apresenta uma avaliação da biodegradabilidade de alguns fármacos no processo de tratamento biológico de efluentes.

Tabela 1. Avaliação da biodegradabilidade de alguns fármacos

Fármacos	Utilização	Biodegradabilidade
Ampicilina	Antibiótico	48% biodegradável
Ibuprofeno	Anti-inflamatório	Biodegradável
Naproxeno	Anti-inflamatório	Não biodegradável
Sulfametoxazol	Antibiótico	Não biodegradável
Tetraciclina	Antibiótico	Não biodegradável

Fonte: Adaptado de Richardson e Bowron (1985), *apud* Vasconcelos (2011).

De acordo com Vasconcelos (2011), apesar da alta taxa de utilização de antibióticos, as informações sobre os efeitos da exposição a esses fármacos, seus metabólitos e seus produtos de degradação no meio ambiente ainda são escassas, não existindo, até o momento, regulamentação para a presença desses produtos em águas para consumo e em efluentes industriais e domésticos.

3.3 Tratamento de efluentes industriais

Muitos estudos têm sido realizados com objetivo de desenvolver tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos efluentes industriais (PERALTA-ZAMORA *et al.*, 1997), permitindo não apenas a remoção de substâncias contaminantes, como também sua mineralização completa (ALMEIDA *et al*, 2004).

3.3.1 Processos de oxidação biológica

O tratamento biológico, ou secundário, de efluentes é um dos processos mais utilizados, uma vez que permite tratar grandes volumes com custos relativamente baixos (FREIRE *et al.*, 2000). Além disso, sabe-se que os microrganismos têm grande capacidade de degradar resíduos orgânicos em ambientes aquáticos (MORAIS, 2005).

De acordo com Sperling (2005), o principal objetivo do tratamento secundário é a remoção de matéria orgânica, apresentada nas formas dissolvida (DBO solúvel ou filtrada) e em suspensão (DBO suspensa ou particulada). Esse tipo de tratamento consiste no contato direto entre os microrganismos e a matéria orgânica contida no efluente, que, em condições aeróbias, é convertida em biomassa, gás carbônico e água. Na ausência de oxigênio há produção de metano.

Ultimamente, o avanço da microbiologia tem propiciado muitas alternativas que viabilizam o tratamento biológico de efluentes industriais. Trabalhos recentes se referem ao tratamento de vários efluentes por esses processos (ORHON, 1999, GEBARA, 1999 *apud* Freire *et al.*, 2000). De acordo com uma pesquisa realizada em 1997 pela Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S. E.P.A), mais de 30% dos laboratórios farmacêuticos americanos utilizam sistemas biológicos aeróbios, como lodos ativados, lagoas aeradas, filtros biológicos, etc., para o tratamento de seus efluentes.

3.3.1.1 Lagoas aeradas agitadas

Trata-se de um sistema biológico de tratamento, no qual a biomassa é mantida em suspensão no tanque por meio de aeradores. Geralmente, tem-se uma lagoa de sedimentação a jusante para decantação dos sólidos em suspensão carreados pelo efluente na saída do reator. O lodo sedimentado deve ser periodicamente removido (BENTO; HOFFMAN, 2007).

3.3.1.2 Biodegradabilidade dos efluentes

Segundo Braile e Cavalcanti (1979), a biodegradabilidade de um efluente pode ser estimada pela relação DBO/DQO. Quando a razão DBO/DQO > 0,5, a maior parte da matéria orgânica é biodegradável, sendo indicado um tratamento biológico convencional. Já quando se tem DBO/DQO << 0,5, uma boa parte da matéria orgânica não é biodegradável, sendo possíveis duas alternativas:

1. Tratamento biológico convencional: quando a parcela refratária não é poluidora;
2. Tratamento físico químico, por coagulação/decantação, oxidação química: quando a parte refratária polui.

Para o segundo caso há, ainda, duas possibilidades:

- $SSV/SV > 0,8$: a maior parte da matéria orgânica se encontra na forma de sólidos suspensos, indicando-se tratamento físico químico convencional, por decantação primária, flotação, coagulação/decantação;
- $SDV/SV > 0,8$: a matéria orgânica se encontra na forma de sólidos dissolvidos, recomendando-se tratamento físico-químico avançado, por carvão ativado, oxidação química, combustão, etc.

3.3.2 Processos Oxidativos Avançados

Há uma grande variedade de compostos orgânicos não degradáveis pelo tratamento biológico convencional, por serem tóxicos aos microrganismos ou devido à sua própria composição. Dessa forma, muitas indústrias têm utilizado processos oxidativos avançados (POA's) para o tratamento de compostos orgânicos dessa natureza, os quais demonstram grande potencial quando comparados a outras técnicas de tratamento de efluentes contendo compostos recalcitrantes. Esses processos podem ser utilizados como um pré-tratamento, diminuindo a toxicidade do efluente, ou como pós-tratamento, oxidando resíduos não degradados no processo biológico (MORAIS, 2005).

A eficiência dos POA's se justifica na geração do radical hidroxila ($\bullet OH$), que possui um alto poder oxidante, promovendo a degradação de vários compostos poluentes de forma rápida. (HIRVONEN; TUHKANEN; KALLIOKOSKI, 1996; VINODGOPAL, *et al*, 1998, *apud* Freire *et al*, 1999). Tendo foco a otimização industrial, o principal objetivo desse processo deve ser transformar os compostos poluentes em subprodutos passíveis de degradação por processos biológicos convencionais (VASCONCELOS, 2011). Sendo assim, recomenda-se a utilização desse processo como pré-tratamento à etapa biológica (MASCOLO *et al*, 2010).

3.3.2.1 Reagente Fenton

Entre os POA's destaca-se o reagente Fenton, que pode ser utilizado para tratar efluentes industriais complexos, contaminados com uma

grande variedade de compostos tóxicos (MORAIS, 2005). Esse reagente se trata de uma mistura de peróxido de hidrogênio e sais de ferro (II), com formação de radicais hidroxila. Para garantir a eficiência do processo, a reação deve ocorrer em pH ácido, exigindo, após o tratamento e antes do descarte do efluente final, uma etapa adicional de neutralização (SANZ *et al*, 2003; KATSOYIANNIS; ZOUBOULIS, 2002; NOGUEIRA *et al*, 2007, *apud* Vasconcelos, 2011).

Para Moraes (2005), existem várias vantagens do Fenton em relação a outros processos oxidativos avançados, como: menores custos com equipamentos, simplicidade de operação, não sendo necessárias altas pressões e temperaturas, menores custos de operação, fácil manuseio, ambientalmente limpo e não gera subprodutos tóxicos.

Além disso, segundo Vasconcelos (2011), o reagente Fenton apresenta boa resposta de remoção de contaminantes recalcitrantes, tendo sido muito pesquisado para o tratamento de efluentes contendo compostos farmacêuticos. Conforme já mencionado, os efluentes gerados na etapa de formulação de medicamentos, principalmente de antibióticos, podem apresentar baixa biodegradabilidade, levar a inibição da biomassa do tratamento aeróbio e ainda desenvolver bactérias resistentes presentes no meio.

3.4 Lodo de tratamento de águas residuárias

Lodo é o principal resíduo sólido gerado durante o processo de tratamento de águas residuárias, domésticas ou industriais. Esses resíduos são também chamados de biossólidos caso possuam características químicas e biológicas que permitam uma disposição final produtiva (U.S. EPA, 2012), como por exemplo a agricultura, recuperação de áreas degradadas ou reflorestamento.

Tipicamente, o lodo de esgoto é composto por matéria orgânica, macro e micronutrientes, além de elementos potencialmente perigosos e indesejáveis, que dificultam sua utilização e disposição final (BETTIOL; CAMARGO, 2006). No entanto, essa composição é muito variável, pois, além da origem do esgoto, depende do processo de tratamento e da sazonalidade e, no caso do lodo industrial, depende ainda das matérias-primas utilizadas e do processo industrial empregado (TRANNNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2005).

A gestão adequada do lodo é uma atividade de alta complexidade e fundamental para o sucesso de um sistema de tratamento. Apesar de o lodo gerado representar apenas cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado, seu gerenciamento chega a atingir entre 20 e 60% do custo

operacional de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) (SPERLING; ANDREOLI, 2001).

3.5 Disposição final do lodo

A gestão do lodo gerado no tratamento de efluentes industriais e sanitários representa um grande problema de âmbito mundial e vem se agravando devido ao acelerado processo de industrialização, à diversificação do parque industrial e à vasta gama de resíduos gerados, aliado ao elevado crescimento demográfico.

A importância da disposição final desses resíduos foi reconhecida na Agenda 21, documento elaborado na Conferência Mundial de Meio Ambiente - Rio 92, que aborda em seu capítulo 21 o tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”, sendo definidas quatro áreas prioritárias: redução ao mínimo dos resíduos, aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos, promoção do depósito e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos e ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos. Essas também são diretrizes da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de resíduos Sólidos.

O destino final do lodo é a última etapa do sistema de tratamento, sendo sua prática adequada a garantia da conclusão bem sucedida do sistema. Sem a correta destinação do lodo, todo o investimento na implantação e operação de uma ETE, bem como os benefícios ambientais e sanitários, ficam comprometidos, tendo, entre outras consequências, a degradação dos recursos naturais e alterações na saúde da população (PEGORINI, 2002).

Existem várias técnicas de disposição final ou aproveitamento do lodo, tais como: disposição em aterro sanitário, incineração, recuperação de solos, *landfarming*, uso florestal e agrícola, etc. De acordo com Fernandes et al (2001), do ponto de vista sustentável, para analisar as alternativas de destinação final do lodo, deve-se existir uma preocupação quanto à diminuição da produção do resíduo, à produção de lodo de melhor qualidade e em reciclar ao máximo o lodo.

Atualmente, a destinação final do lodo em aterro sanitários, por meio de incineração ou pelo uso do *landfarming* são empregados apenas quando o lodo não é passível de valorização devido a contaminações ou então quando próximo à estação não existirem solos adequados ou disponíveis (FERNANDES et al, 2001).

3.6 Uso agrícola do lodo

Entre as várias técnicas de destinação final do lodo, o uso agrícola é uma das mais convenientes, pois além da economicidade e adequação ambiental, quando atendidos determinados critérios (SANTOS, H., 2001), o lodo é rico em matéria orgânica e em nutrientes, sendo recomendada sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Dentro dessa proposta de destinação final, inclui-se a utilização do biossólido em culturas agrícolas de cereais, adubação de cobertura, fruticultura, floricultura de espécies arbustivas e arbóreas, jardinagem, paisagismo de áreas verdes urbanas, recuperação de áreas degradadas e em silvicultura de espécies exóticas e nativas.

Embora alguns trabalhos destaquem um aumento na produtividade de diferentes culturas com a aplicação de biossólidos urbanos, os estudos sobre a viabilidade da utilização agrícola de lodo industrial são poucos e desenvolvidos com resíduos diversificados.

Ferreira *et al* (2000) estudaram as alterações dos atributos químicos e biológicos do solo e o rendimento de milho e soja pela utilização agrícola de lodo de curtume. Como resultados, obtiveram aumentos no valor do pH, nos teores de Ca trocável e de Cr no solo e rendimentos de soja e milho semelhantes aos com adição de fertilizante nitrogenado.

Lopes *et al* (2004) avaliaram a utilização do lodo de uma indústria de galvanoplastia-zincagem como fonte de zinco para a cultura do crisântemo. Em certa dose, os resultados indicaram que esse lodo pode fornecer nutrientes à planta. Por outro lado, em doses superiores ocorreu queda da produção causada pelo desbalanço nutricional associado à fitotoxidez do zinco e à elevada condutividade elétrica do substrato.

Apesar desses resultados e conforme já mencionado, o lodo proveniente do tratamento dos efluentes industriais possui características que variam conforme o processo industrial e as matérias-primas utilizadas. Portanto, para a aplicação na agricultura, são necessárias pesquisas de viabilidade técnica, ambiental e agrônômica específicas a cada resíduo industrial (TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2008), devendo ser realizada somente se existir um controle eficiente sobre sua estabilidade e o conteúdo de contaminantes.

3.6.1 Características de interesse agrônômico

O efeito benéfico do lodo no solo está associado ao teor de nutrientes e de matéria orgânica presentes no biossólido e que variam conforme as características do efluente que o originou e dos processos de tratamento do esgoto e do lodo.

a) Nutrientes

Um dos principais benefícios da reciclagem agrícola do lodo é a incorporação de nutrientes no solo.

- **Nitrogênio**

O nitrogênio é o elemento encontrado em maior quantidade, representa o maior valor econômico no biossólido e é o nutriente que obtém melhor resposta pelas culturas. Nos esgotos, é proveniente dos dejetos e da biomassa microbiana, estando presente nas formas inorgânica (mineralizadas), como nitratos e amônio, e orgânica, constituindo proteínas, aminoácidos, aminoaçúcares, amidos, ácidos nucleicos e polímeros (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

Apesar dos benefícios, o nitrogênio pode representar um grande risco de contaminação das águas subterrâneas devido à sua grande solubilidade e alta mobilidade no solo. De acordo com a Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde, concentrações de nitrato acima de 10 mg/L afetam a potabilidade da água para consumo humano. Dessa forma, deve-se ter muito cuidado para que a dose de nitrogênio adicionada ao solo nunca seja superior à necessidade da cultura.

- **Fósforo**

O lodo também pode ser rico em fósforo. A origem desse nutriente no lodo é dos dejetos, células microbianas da biomassa do lodo e de detergentes e sabões com fosfatos em sua composição (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

A quantidade assimilável de fósforo pelas plantas é baixa, uma vez que necessitam de quantidades pequenas desse elemento para seu desenvolvimento vegetativo e produção. Já os solos apresentam grande capacidade de fixação deste elemento. Por este motivo, a contaminação do lençol freático pelo fósforo é difícil. Apesar disso, em caso de erosão pode haver arraste do solo com fósforo para corpos d'água superficiais, podendo provocar eutrofização (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

- Outros macronutrientes: Cálcio, Magnésio e Potássio

Os elementos Ca e Mg também são encontrados nos lodos, mas em quantidades pequenas. Quando a higienização do lodo é feita por caleação, são adicionadas no lodo grandes quantidades desses elementos. O potássio também pode ser encontrado em pequenas quantidades, devendo ser adicionado por meio de adubos minerais em solos adubados com lodo (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

- Micronutrientes

O biossólido pode conter micronutrientes como cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro. Geralmente quando o lodo contém taxas suficientes de nitrogênio para suprir as necessidades das plantas, as taxas de micronutrientes também são atendidas (TSUTIYA, 2002).

b) Matéria orgânica

Outra característica de interesse para a agricultura é o conteúdo de matéria orgânica do biossólido, uma vez que representa grandes efeitos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A matéria orgânica, além de agir como um condicionador do solo e contribuir para o crescimento e desenvolvimento das plantas, aumenta a retenção de água em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos além de, por determinado tempo, manter uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície. (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

3.6.2 Componentes Indesejáveis

Ao contrário do efeito benéfico que alguns componentes orgânicos e minerais conferem ao lodo, outros, devido ao risco ambiental que oferecem, são indesejáveis. Esses componentes podem ser: patógenos, metais pesados e poluentes orgânicos.

a) Patógenos

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), os lodos de esgoto podem conter os seguintes grupos de microrganismos patogênicos: coliformes fecais, salmonela, vírus e helmintos, os quais oferecem risco à saúde humana e animal, uma vez que podem ser transmitidos por meio dos alimentos e da água contaminada, e também através de insetos, roedores e pássaros.

Como indicadores da sanidade do lodo, utilizam-se frequentemente os coliformes fecais e ovos de helmintos, uma vez que,

tendo estes parâmetros controlados, o restante estará automaticamente dentro do limite permitido. (ANDREOLI; FERREIRA, 1999).

A presença de agentes patogênicos no lodo está associada ao tratamento de esgoto doméstico, uma vez que a origem destes compostos tem procedência dos dejetos humanos.

b) Metais pesados

A expressão "metais pesados" se refere aos elementos químicos com peso específico maior que 5 g/cm³ ou que possuem número atômico maior que 20. Porém, de acordo com Silva et al (2001), do ponto de vista ambiental, esse termo é utilizado para designar elementos químicos que, acima de certos limites e tempo de exposição, poluem o meio ambiente e são tóxicos para o solo, para as plantas e para os animais, podendo ser metais, semi-metais e até mesmo não metais.

Nesse conceito, são enquadrados os seguintes elementos químicos: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco, os quais são encontrados naturalmente no solo, mas em concentrações menores às consideradas tóxicas aos seres vivos. Metais como As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são conceituados como micronutrientes por serem essenciais aos organismos vivos em doses pequenas. Por outro lado, elementos como o Pb, Hg e Cd não existem naturalmente em nenhum organismo, sendo tóxico em qualquer concentração.

A presença de metais pesados é a principal limitação da utilização de biossólidos na agricultura (ANDREOLI; FERREIRA, 1999), pois podem se acumular no solo por tempo indefinido. Atualmente, as técnicas de remoção destes elementos no lodo são rudimentares e muito caras. Portanto, biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não devem ter destinação agrícola.

c) Poluentes Orgânicos

Os compostos orgânicos são motivos de preocupação, por estarem associados a riscos potenciais de carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade e risco substancial à saúde humana (SANTOS, A., 2003).

Pouco se sabe sobre o comportamento desses compostos nos sistemas de controle de poluição das águas. Não se tem conhecimento das características físicas, químicas e bioquímicas, bem como de suas inter-relações em águas residuárias complexas, dificultando a previsão da tratabilidade e do destino desses poluentes durante as operações de tratamento. Assim, ainda são necessárias muitas pesquisas para

identificar esses compostos, compreender seus mecanismos de remoção e desenvolver modelos de previsão (SILVA *et al*, 2001).

As principais fontes de compostos orgânicos são: indústria química, de plásticos, produtos mecânico, farmacêuticas, formulação de pesticidas, ferro e aço, lavanderias, postos de gasolina e indústrias de madeira. Os poluentes mais comuns nos efluentes industriais são: cianeto, fenol, cloreto de metileno, tolueno, etil benzeno, tricloroetileno, tetracloroetileno, clorofórmio, naftaleno, acroleína, xileno, cresóis, acetofenima, anilina, acetato de etila, entre outros (SILVA *et al*, 2001).

3.7 Tratamento de lodo para reciclagem agrícola

De acordo com Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001), genericamente, para se adequar aos parâmetros definidos pela legislação, todo biossólido deve ser submetido a algum tratamento adicional. O tratamento tem por finalidade a redução do teor de água, da matéria orgânica biodegradável e a concentração de organismos patogênicos presentes, de forma que possa ser manipulado e transportado com facilidade e baixo custo e que não represente perigo para a saúde pública (HAANDEL; SOBRINHO, 2006).

3.7.1 Processos usuais de tratamento de biossólidos

Os processos usuais de tratamento de biossólidos são: estabilização, desaguamento e higienização (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001). A incorporação de cada uma destas etapas no fluxograma do processamento do lodo depende das características do lodo gerado ou, em outras palavras, do sistema de tratamento utilizado para a fase líquida, bem como da etapa de tratamento do lodo subsequente e da disposição final.

a) Estabilização

Tem por objetivo a redução da fração biodegradável da matéria orgânica, a redução da quantidade de patógenos, a eliminação de maus odores e a inibição/redução do potencial de putrefação. Os processos de estabilização podem ser divididos em estabilização biológica, estabilização química e estabilização térmica.

b) Desaguamento

Tem como função a remoção do excesso de água, provocando, consequentemente, um aumento na concentração de sólidos e uma redução do volume do lodo. Tem impacto positivo nos custos de

transporte e destinação final. Os processos de desaguentamento podem ser por secagem natural (leitos de secagem e lagos de secagem) ou métodos mecânicos (filtros prensa de esteira, centrífugas, filtros prensa de placas e presa parafuso).

Como preparação para essa etapa, o lodo pode passar por um condicionamento, que visa melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo por meio da adição de produtos químicos (coagulantes, polieletrólitos).

c) Higienização

Objetiva garantir um nível de patogenicidade no lodo, de modo que não represente riscos à saúde da população e dos trabalhadores que irão manuseá-lo, nem impactos negativos ao meio ambiente. No Brasil, um dos processos mais comuns de higienização é a caleação, no qual é adicionada uma quantidade suficiente de cal para elevar o pH do lodo para 12, ocasionando a estabilização alcalina.

De acordo com estudos realizados (OORSCHOT *et al*, 2000; ANDREOLI *et al.*, 1999; EPA, 1992, 1994 *apud* Pinto 2001), dosagens de cal virgem entre 30 a 50% da massa seca de lodo são suficientes para alcançar as características necessárias para a produção de um bioestabilizado de boa qualidade.

Apesar desse sistema de higienização acarretar em uma maior quantidade de resíduos para disposição, é uma tecnologia simples que não requer grandes investimentos, sendo viável para pequenas quantidades de lodo (PINTO, 2001). A mistura do lodo com cal pode ser feita por meio de uma betoneira. Depois disso, para garantir a eficácia desse processo, o bioestabilizado deve passar por um período de maturação em local coberto, por cerca de 30 a 45 dias.

Após este período, devem ser realizadas análises de qualidade do lodo para avaliar se os parâmetros estão dentro dos limites estabelecidos pela lei e, em caso positivo, poderá ser destinado à disposição agrícola.

3.8 Legislação

3.8.1 Legislação sobre bioestabilizados

Em 2006, O Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA nº 375 de 2006, definindo critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Essa Resolução foi criada tendo como base resultados preliminares de pesquisas nacionais disponíveis e também em normas de outros países.

No Paraná, a Lei Estadual nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999, “estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências”. Em seu Art. 14º, §1º, estabelece que: “O solo e o subsolo somente poderão ser utilizados para armazenamento, acumulação ou disposição final de resíduos sólidos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma tecnicamente adequada, estabelecida em projetos específicos, obedecidas as condições e critérios estabelecidos pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP”. Esses critérios foram determinados em 2002, pela Instrução Técnica do IAP CEP/DTA 001, que “dispõe sobre a utilização agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário”, baseada em estudos desenvolvidos pelo Programa Interdisciplinar de Pesquisa sobre Uso Agrícola de Lodo.

Com a publicação da Resolução CONAMA nº 375/2006, essa norma técnica foi revisada, dando origem a Resolução SEMA nº 01/2007. Atualmente, os mecanismos e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná estão regulamentados pela Resolução SEMA nº 021 / 2009.

A Resolução SEMA nº 021/09 “dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento”. Essa Resolução se baseia na Resolução CONAMA nº 375/06, definindo, em seu anexo 6, os critérios para utilização agrícola de lodo de ETE. Com exceção de alguns parâmetros mais restritivos, a Resolução SEMA 021/09 segue a Resolução CONAMA nº 375/06.

Tanto a Resolução CONAMA nº 375/06 quanto a SEMA 021/09 se referem ao uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, o qual é definido como: “despejo líquido constituído de esgotos predominantemente domésticos, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária”. Ambas legislações não se aplicam a lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais e ainda não existe nenhuma outra norma que defina critérios para utilização agrícola de lodo industrial.

3.8.2 Legislação de resíduos sólidos

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, define reciclagem como um processo de

transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Portanto o uso agrícola de lodo pode ser considerado um processo de reciclagem, pois depois de passar por um processo de tratamento que altera suas propriedades físicas, químicas e biológicas, o lodo é transformado em um insumo agrícola.

Essa lei tem como princípio, entre outros, o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Além disso, um dos objetivos da PNRS é a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, devendo ser observada, na gestão e no gerenciamento dos resíduos, essa ordem de prioridade. A PNRS institui ainda, que a contratação de serviços de gerenciamento de resíduos não isenta o gerador da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos.

Em nível estadual, o princípio I do Art 3º da Lei Estadual nº 12.493 de 22 de janeiro de 1999, a Lei de Resíduos do Paraná, estabelece que: “a geração de resíduos sólidos deverá ser minimizada através da adoção de processos de baixa geração de resíduos e da reutilização ou reciclagem, dando prioridade à reutilização e/ou reciclagem a despeito de outras formas de tratamento e disposição final, exceto nos casos em que não exista tecnologia viável”.

Essa lei também estabelece que a responsabilidade pela execução de medidas para prevenir e/ou corrigir a poluição e/ou contaminação do meio ambiente decorrente de derramamento, vazamento, lançamento e/ou disposição inadequada de resíduos sólidos é:

I – da atividade geradora dos resíduos, quando a poluição e/ou contaminação originar-se ou ocorrer em suas instalações;

II – da atividade geradora dos resíduos e da atividade transportadora, solidariamente, quando a poluição e/ou contaminação originar-se ou ocorrer durante o transporte;

III – da atividade geradora dos resíduos e da atividade executora de acondicionamento, de tratamento e/ou de disposição final dos resíduos, solidariamente, quando a poluição e/ou contaminação ocorrer no local de acondicionamento, de tratamento e/ou de disposição final.

3.9 Planejamento da utilização agrícola de biossólidos

De acordo com Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001), a elaboração de um plano para reciclagem agrícola deve envolver um processo de planejamento preliminar. Essa etapa abrange a coleta e a avaliação dos dados para a caracterização do biossólido, o levantamento das restrições definidas pela legislação e estudos quanto às áreas para a disposição do lodo no solo.

Essas informações determinam a viabilidade técnica e jurídica dessa alternativa de destinação final. Ao se optar por essa alternativa, e para dar continuidade ao processo, devem ser desenvolvidos estudos referentes à organização e à operação da distribuição do biossólido.

3.9.1 Planejamento Preliminar

3.9.1.1 Caracterização do biossólido

Nesse item deve ser feita uma descrição detalhada da estação de tratamento de esgoto, contemplando: descrição do sistema de tratamento, regime de funcionamento, capacidade do sistema, estrutura disponível, produção de lodo, área necessária para a disposição, etc. (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

A estimativa da área necessária para a o uso agrícola é dada pela seguinte fórmula:

Área necessária (ha)

$$= \frac{\text{Produção de lodo (t matéria/mês)}}{\text{Taxa média de aplicação (t matéria} \frac{\text{seca}}{\text{ha}} \text{)}}$$

3.9.1.2 Restrições de qualidade do lodo para a reciclagem agrícola

A Resolução SEMA n° 021/09 exige que a utilização agrícola do lodo seja vinculada a resultados de análises dos parâmetros de qualidade do produto, quanto:

- ao potencial agrônômico;
- substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas;
- indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos;
- estabilidade.

Quanto ao potencial agrônômico, a caracterização do lodo deve determinar os seguintes parâmetros:

- carbono orgânico;
- fósforo total;
- nitrogênio Kjeldahl;

- nitrogênio amoniacal;
- nitrogênio nitrato/nitrito;
- pH em água (1:10);
- potássio total;
- sódio total;
- enxofre total;
- cálcio total;
- magnésio total;
- umidade;
- sólidos voláteis e totais.

Já para a caracterização quanto à presença de substâncias inorgânicas e orgânicas, deverão ser determinados os elementos das Tabelas 2 e 3, respectivamente, nas quais também constam as concentrações máximas permitidas de cada substância no lodo.

Tabela 2. Substâncias inorgânicas a serem determinadas e concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto

Substâncias Inorgânicas	Concentração máxima permitida (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	20
Chumbo	300
Cobre	1000
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2500

Fonte: Resolução SEMA n° 021/09.

Tabela 3. Substâncias orgânicas a serem determinadas e concentrações máximas permitidas de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto

	Substância	Concentração permitida no solo (mg/kg)
Benzenos Clorados	1,2 - Diclorobenzeno	0,73
	1,3 - Diclorobenzeno	0,39
	1,4 - Diclorobenzeno	0,39
	1,2,3 - Triclorobenzeno	0,01
	1,2,4 - Triclorobenzeno	0,011
	1,3,5 - Triclorobenzeno	0,5
	1,2,3,4 - Tetraclorobenzeno	0,16
	1,2,4,5 - Tetraclorobenzeno	0,01
	1,2,3,5 - Tetraclorobenzeno	0,0065
Ésteres de ftalatos	Di-n-butil ftalato	0,7
	Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1
	Dimetil ftalato	0,25
Fenóis não clorados	Cresóis	0,16
Fenóis clorados	2,4 - Diclorofenol	0,031
	2,4,6 - Triclorofenol	2,4
	Pentaclorofenol	0,16
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Benzo(a)antraceno	0,025
	Benzo(a)pireno	0,052
	Benzo(k)fluoranteno	0,38
	Indenol(1,2,3-c,d)pireno	0,031
	Naftaleno	0,12
	Fenantraceno	3,3
	Lindano	0,001

Fonte: Resolução SEMA n° 021/09.

Além dos elementos da Tabela 3, também deverão ser determinados os seguintes Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's):

- aldrin;

- dieldrin;
- endrin;
- clordano;
- heptacloro;
- DDT;
- toxafeno;
- mirex;
- hexaclorobenzeno;
- PCB's;
- dioxinas e Furanos.

A avaliação do lodo quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, deverá ser de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos

Concentração de patógenos
Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP / g de ST
Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST
<i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST
Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST

Fonte: Resolução SEMA n° 021/09.

Onde:

ST: Sólidos Totais;

NMP: Número Mais Provável;

UFF: Unidade Formadora de Foco;

UFP: Unidade Formadora de Placa.

Com relação à estabilidade, para utilização agrícola, o lodo será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70.

A amostragem do lodo para as análises deve ser realizada de acordo com a ABNT NBR n° 10.007/04 - Amostragem de resíduos sólidos.

3.9.1.3 Áreas de aplicação

De acordo com Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001), além da avaliação da qualidade, para que os riscos de contaminação do meio

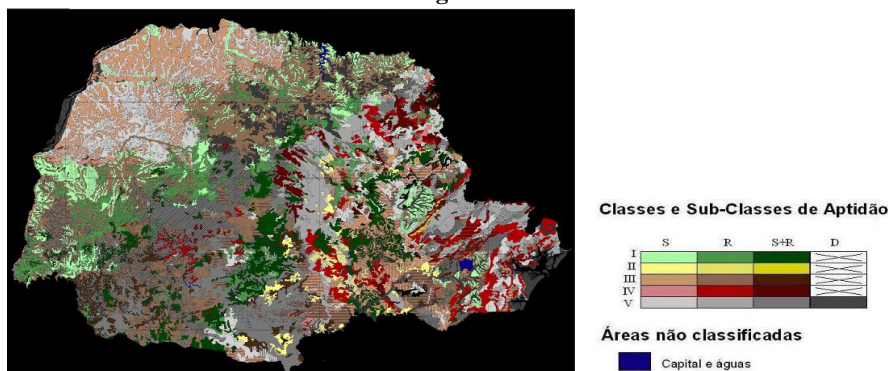
ambiente e da população sejam minimizados, o uso seguro de biossólidos depende ainda de várias características ambientais dos locais onde será aplicado. As áreas de aplicação devem ser selecionadas segundo parâmetros que reduzam a níveis mínimos os riscos associados ao seu uso, e que ofereçam os melhores resultados agrônômicos. Estes critérios estão relacionados à aptidão do solo para aplicação de biossólidos, à taxa de aplicação, às culturas em que pode ser aplicado, restrições locacionais, às condições climáticas, ao contexto sócio-econômico, etc.

- **Aptidão do solo**

O solo é considerado apto quando a incorporação do material promove a rápida atividade biológica e a ciclagem de nutrientes, matéria orgânica e outros componentes sem oferecer riscos ao meio ambiente, à saúde e ao potencial produtivo do solo.

A figura 2 representa um mapa de aptidão das terras do Paraná para a disposição final do lodo. Essa aptidão foi avaliada conforme o comportamento do solo quanto à erodibilidade, à drenagem interna e impedimentos à motomecanização. Também foram considerados os aspectos edafoclimáticos, ambientais e de restrições locacionais determinadas pela lei.

Figura 2. Mapa de aptidão das terras do Paraná para disposição final de lodo de esgoto



Fonte: (SOUZA et al 2008).

Segundo Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001), nesse mapa, a divisão das áreas é feita da seguinte maneira:

- Solos Classe I: apresentam potencial muito alto para uso de bio sólidos. Esse tipo de solo é encontrado em áreas planas, o que facilita operações mecanizadas de cultivo e, principalmente, são pouco suscetíveis à erosão.
- Solos Classe II: apresentam potencial alto para uso de bio sólidos. São solos que normalmente apresentam em porções da paisagem com certa declividade (entre 3 e 8%) e que merecem cuidados de manejo, embora simples e usuais, como rotação de culturas, cultivo em nível e em caso de solos friáveis, curvas de nível.
- Solos Classe III: apresentam potencial moderado para uso de bio sólidos, devendo ser recomendadas práticas rigorosas de conservação de solos, para a permissão de uso de material, embora sem restrições. Como exemplo, tem-se uma encosta moderadamente erodida.
- Solos Classe IV: podem ser utilizados no programa desde que critérios atenuantes, como alternativas de manejo e práticas culturais, sejam apresentados. No entanto, oferecerão risco caso estas medidas não sejam efetivamente tomadas. Exemplo: solos com declividade acentuada, e dificuldade de trabalho com máquinas.
- Solos Classe V: em hipótese alguma podem receber aplicações de bio sólidos. Nestes solos, a utilização do resíduo representa graves riscos ao meio ambiente e à população. Exemplo: solos com muita pedregosidade e exposição de rochas.

De acordo com Souza *et al* (2008), as subclasses se referem ao comportamento do solo (risco ambiental) e à possibilidade de mecanização. Trata-se de um artifício cartográfico para separar as terras no que se refere à natureza de aspectos ambientais que oferecem o impedimento mais restritivo para a aplicação de lodo, representado pelas letras:

- S - Limitações ligadas às características morfológicas e físico-químicas dos solos.
- R - Limitações ligadas às características de relevo.
- S + R - Limitações ligadas às características dos solos e da paisagem.
- D - Limitações ligadas à drenagem interna dos solos.

São agrupadas com o sinal “+” quando ocorrem associadas. Na legenda do mapa, as subclasses são identificadas com base na intensidade da cor.

- **Taxa de aplicação**

A taxa de aplicação de lodo no solo depende da necessidade de nutrientes da cultura, do potencial agrônômico e da qualidade físico-química do biossólido e do solo onde será aplicado, devendo ser realizado um planejamento cuidadoso para evitar que a aplicação comprometa a qualidade da água superficial e/ou subterrânea e o potencial produtivo do solo (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

A Resolução SEMA n° 021/09 estabelece que a taxa de aplicação deve ser determinada considerando os seguintes critérios:

- não exceder a relação entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura e o teor de nitrogênio disponível no lodo;
- ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo no solo.
- observar os limites de carga acumulada teórica no solo, quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, segundo a Tabela 5.

Tabela 5. Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas

Substâncias Inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: Resolução Sema n° 021/09.

De acordo com Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001), as taxas de aplicação usuais variam entre 6 e 9 toneladas de base seca de lodo por hectare.

- **Culturas**

A legislação proíbe a utilização de lodo de esgoto em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Também estabelece que, em solos em que seja aplicado lodo de esgoto, as pastagem só poderão ser implantadas após um período de 2 anos.

Recomenda-se a aplicação do lodo em culturas como cereais, café e açúcar, pois seus produtos são industrializados ou não são consumidos “in natura”. Áreas de reflorestamento também são indicadas, pois não apresentam risco de consumo.

- **Restrições Locacionais**

A legislação não permite a aplicação de lodo de esgoto em unidades de conservação, em áreas de preservação permanente, em áreas de proteção aos mananciais e de captação de água para abastecimento público, no interior da zona de transporte para fontes de águas minerais, num raio mínimo de 100 m de poços rasos e residências, etc.

- **Condições climáticas**

Essas características estão relacionadas com as épocas de utilização, salinização e erosividade do solo e potencial de lixiviação, as quais podem sofrer impactos com as variações do clima.

- **Contexto socioeconômico**

O contexto socioeconômico deve ser avaliado para se traçar o perfil do produtor da região, para identificar possíveis barreiras de aceitação, para determinar o grau de tecnificação de modo a identificar os equipamentos disponíveis.

3.9.2 Organização da distribuição

As etapas anteriores devem permitir a conclusão da viabilidade da reciclagem agrícola do lodo. Ao optar-se por essa alternativa deve ser dada continuidade ao processo.

A seguir serão descritas as etapas envolvidas na organização do processo de distribuição agrícola do lodo.

3.9.2.1 *Divulgação e definição de usuários*

O programa para uso agrícola de lodo deve iniciar com a realização de reuniões para divulgação e esclarecimento com instituições ligadas à agricultura, meio ambiente e saúde e, em parceria com elas, deve-se divulgar o programa e avaliar o interesse dos agricultores. Feito isso, devem ser cadastrados os agricultores interessados e que possuam áreas agrícolas que obedeçam às restrições exigidas na lei.

- **Orientações à comunidade**

A participação da comunidade é tão importante quanto qualquer outra etapa técnica do projeto, pois seu envolvimento reduzirá significativamente a oposição ao programa. Devido à carência de programas desse nível, há um desconhecimento dos agricultores, usuários e consumidores quanto às vantagens dessa prática, sendo comum o preconceito em relação ao uso do lodo. Por isso, deve-se buscar um envolvimento da população, por meio da educação e interatividade.

Visando esclarecer a técnicos e agricultores sobre a prática da reciclagem agrícola, devem ser realizados cursos, reuniões e visitas técnicas, informando a origem do material, controle de qualidade, características agronômicas, restrições de uso, orientações e cuidados na aplicação.

Além disso, a população também deve ser informada quanto às razões para opção da reciclagem agrícola, garantia de segurança ambiental e de saúde para usuários e consumidores, restrições de uso, custos, benefícios econômicos para usuários, benefícios ambientais para a sociedade, etc.

3.9.2.2 *Assistência técnica*

Na fase do planejamento preliminar já foram citadas as questões relacionadas às áreas de aplicação, mas apenas em nível de conhecimento. Nesta etapa, o engenheiro agrônomo ou técnico capacitado será responsável por avaliar em campo a exata capacidade das terras onde o lodo será aplicado, considerando todos os critérios envolvidos. Deverá, também, dar assistência técnica ao agricultor, fornecendo a recomendação agronômica, com definição das dosagens, culturas e época de aplicação, bem como uma complementação de adubação, caso necessário.

O responsável também deve fornecer ao agricultor informações quanto às práticas para espalhamento do lodo e os cuidados com a sua segurança.

- **Aplicação**

Após receber as orientações técnicas, o agricultor deve assinar um documento atestando que está ciente de todas as exigências e orientações de uso, comprometendo-se a segui-las fielmente. Ele deve receber o lodo com qualidade comprovada por meio de laudos laboratoriais, sendo de sua responsabilidade a aplicação do lodo no solo.

3.9.2.3 Transporte

O transporte é responsabilidade total da empresa geradora do resíduo. É um dos fatores que tem maior influência sobre os custos da reciclagem e está relacionada com o teor de umidade do lodo, além da distância, tipo do veículo, condições da estrada e modo de carregamento.

O quadro 1 apresenta os fatores importantes na escolha do melhor opção de transporte.

Quadro 1. Fatores relevantes na decisão do meio de transporte

Fator	Relevância
Constituição do bio sólido	Bio sólidos secos (mais de 30% de sólidos) apresentam facilidade de carregamento e transporte (carreta graneleira) e podem ser efetuados pelo próprio produtor rural. Já os bio sólidos pastosos (menos de 30% de sólidos) são de carregamento mais complexo (grudam) e o transporte envolve veículos especiais (caçambas, caminhão brooks etc).
Localização da ETE	A proximidade do meio rural facilita a retirada dos bio sólidos da ETE e reduz os riscos de contaminação da população em acidentes
Acesso	Condições ruins das vias de acesso à ETE e propriedade rural impedem o uso de veículos de maior capacidade
Custo	O transporte pode representar o processo de maior custo num programa de reciclagem

Fonte: Andreoli, Pegorini e Fernandes (2001).

3.9.2.4 Monitoramento

Deve-se realizar monitoramento da atividade para avaliar os impactos positivos e negativos do processo e comprovar sua adequação ambiental e social, principalmente quanto à legislação.

A Resolução SEMA nº 21/09 estabelece a frequência de monitoramento, que deve ser realizada de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6. Frequência de monitoramento da qualidade do lodo.

Quantidade de lodo de esgoto destinado para aplicação na agricultura em t/ano (base seca)	Frequência de monitoramento
até 60	Anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto
de 60 a 240	Semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto
de 240 a 1.500	trimestral
de 1.500 a 15.000	bimestral
acima de 15.000	mensal

Fonte: Resolução Sema nº 021/09.

A legislação ainda estabelece que, além do lodo, também deve ser efetuado o monitoramento do solo, quanto:

- aos parâmetros de fertilidade, no mínimo a cada 3 anos ou antes de cada aplicação, para o caso de lodo com estabilização alcalina;
- substâncias inorgânicas: a cada aplicação, quando estas forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação; quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida; a cada 5 aplicações, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo.
- substâncias orgânicas, quando detectadas pelas análises.

3.9.3 Operação da distribuição

Essa é a última etapa de preparação para implementar o plano e envolve a seleção de corpo técnico, elaboração de um plano de controle de um sistema de relatórios e registro de dados.

3.9.3.1 Programa de controle

Deve-se mapear a atividade, apresentando-se as etapas do programa, um mapa de risco e medidas de ação em caso de problemas.

3.9.3.2 Banco de dados

É importante a elaboração de um banco de dados obtidos com o monitoramento para se ter um histórico passível de consulta para a verificação dos procedimentos adotados e da idoneidade do responsável pela disposição do lodo.

Além disso, o gerador é sempre responsável pelo resíduo. Portanto, é necessário que sejam registradas todas as áreas em que o lodo foi aplicado, bem como seus lotes e caracterização.

3.9.3.3 Projeto Agronômico

A aplicação de lodo de esgoto deve ser vinculada à elaboração de um projeto agronômico para as áreas de aplicação. As etapas anteriores servem de apoio para a elaboração desse projeto.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de trabalho

A indústria farmacêutica, objeto do referido trabalho, atua na produção de medicamentos alopáticos para uso humano, sendo constituída sob a forma de indústria e comércio de produtos farmacêuticos e científicos. Localiza-se na região Oeste do Paraná, em um ponto estratégico de ligação com os principais municípios do Estado.

Figura 3. Região Oeste do Paraná



Fonte: Wikipedia, 2012.

A indústria em estudo conta com uma área de 75.145 m², dos quais 26.828,90 m² são de área construída. A Empresa possui um quadro de cerca de 3.000 colaboradores, funcionando em três turnos de 07h20min cada e horário comercial.

Atua principalmente na área de formulação, possuindo três plantas para a produção de medicamentos: antibióticos, não antibióticos e penicilânicos. Compreende também uma área destinada à pesquisa e desenvolvimento, responsável pelo estudo de novos medicamentos, sendo composta pelos setores Analítico, Farmacotécnico e Físico-químico.

Todos esses setores geram efluentes que necessitam de tratamento. A Tabela 7 apresenta um panorama geral da empresa quanto às atividades realizadas nas áreas de formulação, pesquisa e desenvolvimento.

Tabela 7. Divisão das principais atividades da Empresa

PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO			PESQUISA E DESENVOLVIMENTO		
Penicilânicos	Antibióticos	Não Antibióticos	Analítico	Físico-Químico	Farmacotécnico
Produção de medicamentos penicilânicos (suspensão extemporânea e cápsulas).	Produção de medicamentos antibióticos (cremes, pomadas, suspensões, elixires, comprimidos e cápsulas.	Produção de medicamentos não antibióticos (cremes, pomadas, suspensões, elixires, comprimidos e cápsulas.	Análises de equivalência farmacêutica (testes <i>in vitro</i> entre o medicamento genérico e o medicamento referência.	Análises de equivalência farmacêutica (testes <i>in vitro</i> entre o medicamento genérico e o medicamento referência.	Desenvolvimento de novas formulações; fabricação de lotes piloto.

Fonte: Autor, 2012.

4.2 Planejamento da utilização agrícola de biossólidos

A elaboração deste plano contemplará as seguintes etapas metodológicas:

1. Diagnosticar o processo produtivo da Empresa e a geração de efluentes: para cumprir essa etapa serão coletadas informações na Empresa em materiais já elaborados e consultados colaboradores responsáveis pelas áreas envolvidas.
2. Descrever o processo de tratamento dos efluentes: isso será realizado por meio da consulta a materiais sobre a ETEI já elaborados pela Empresa e profissionais responsáveis pela operação e observação em campo.
3. Diagnosticar o processo de geração e de tratamento do lodo: serão consultados operadores responsáveis pela ETEI e materiais já elaborados, além da observação em campo.
4. Analisar a viabilidade econômica da implementação do plano.

5 RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.1 Processo produtivo da Empresa

Cada produto apresenta um processo industrial diferenciado, mas existem atividades que podem ser consideradas comuns na obtenção de todos os produtos. A seguir, serão apresentadas as etapas genéricas do processo produtivo:

- Recebimento de matérias-primas: verificação do material recebido, por amostragem e análises. Eventuais desconformidades identificadas podem levar à devolução dos compostos aos respectivos fornecedores.
- Armazenagem: estoque de matérias-primas, embalagens para os produtos acabados e demais insumos normalmente recebidos em recipientes retornáveis.
- Pesagem e separação de matérias-primas para produção do lote: para cada produto a ser obtido, as matérias primas são previamente separadas e pesadas de acordo com as quantidade necessárias, e encaminhadas à produção.
- Produção: cada medicamento tem um processo produtivo específico.
- Controle de qualidade: uma vez finalizado, o lote produzido é amostrado e submetido a análises físico-químicas e, após atestada sua adequação, este é encaminhado para envase/embalagem. Nos casos em que o produto acabado não está de acordo com os padrões estabelecidos, o lote poderá ser descartado.
- Envase/embalagem primária: confirmada a adequação do produto, o mesmo é acondicionado em recipientes apropriados e identificados. Essa etapa engloba o acondicionamento de produtos em frascos (plásticos ou de vidro), blísteres ou bisnagas. Após embalado, o produto é identificado por rótulo.
- Embalagem secundária: após a embalagem primária, os produtos são acondicionados em embalagens maiores para comercialização, contendo vários exemplares do mesmo produto.
- Estoque de produtos acabados: o produto, já acondicionado em embalagem para comercialização, é encaminhado para a área de armazenamento, onde permanece até que seja enviado ao cliente.
- Expedição: ponto de saída dos produtos acabados para o comércio.

- Lavação de equipamentos sujos: local onde são lavados equipamentos, bombonas, galões, etc., utilizados na produção.

Para a produção dos medicamentos são utilizados, além dos princípios ativos, matérias-primas como ácidos, aromatizantes, açúcares, bases, corantes, óxidos, entre outros excipientes.

Nos laboratórios de análises são utilizados reagentes químicos classificados como Classe I pela NBR 10.004/04, ou seja, perigosos. A lista com os principais reagentes químicos utilizados encontra-se no Anexo I.

5.2 Origem, natureza e qualidade dos despejos

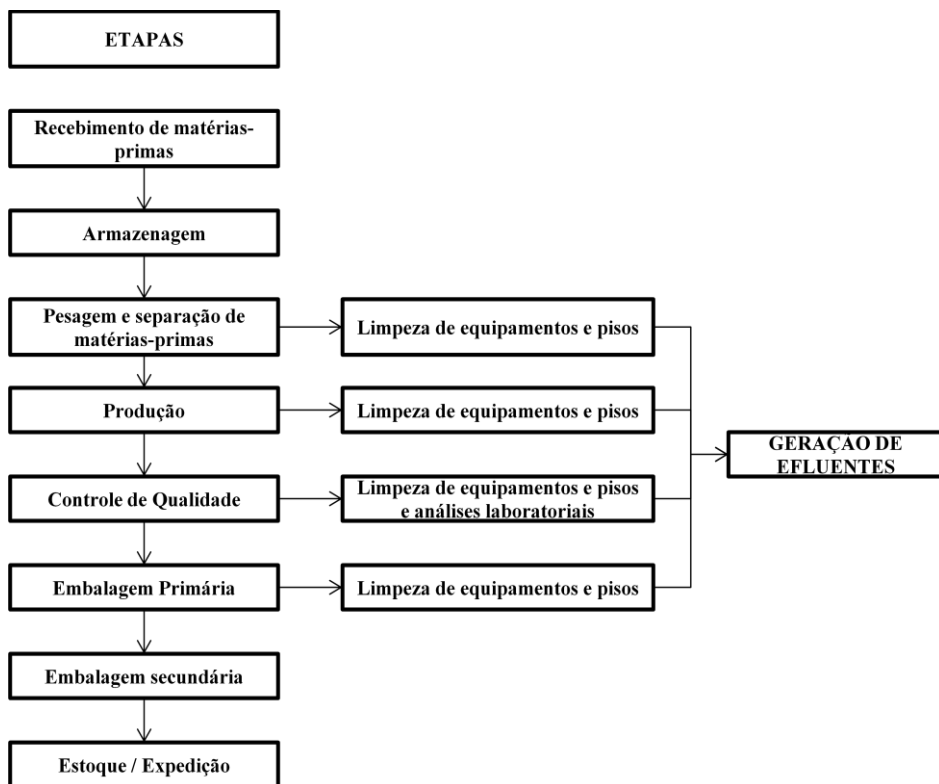
A água utilizada na Empresa provém de 02 poços tubulares profundos, semi-artesianos, do aquífero Serra Geral, outorgados pelo Instituto de Águas do Paraná, estando apta para consumo após cloração. Para ser utilizada em algumas etapas da produção de medicamentos, a água captada passa por um processo de purificação adicional. O consumo médio de água na empresa é de 300 m³/dia.

A indústria de formulação produz um efluente muito semelhante aos seus produtos diluídos, pois preponderantemente são originados nas lavagens de pisos das áreas de produção, equipamentos e tanques de processo. As principais origens de efluentes a serem tratados pela empresa são:

- lavação e limpeza da área de fabricação;
- lavação e limpeza de máquinas em geral;
- lavanderia;
- laboratórios.

A Figura 4 demonstra as etapas genéricas da produção dos medicamentos, assim como as etapas em que há geração de efluentes.

Figura 4. Fluxograma das etapas genéricas da produção de medicamentos e da geração de efluentes



Fonte: Autor, 2012.

Além dos produtos diluídos, os efluentes gerados na lavação da área de fabricação e dos equipamentos e na lavanderia se caracterizam pela presença de detergentes e sanitizantes.

Nos laboratórios, os resíduos químicos com concentrações abaixo de 30%, 5M e 5N são descartados na pia com água corrente, fazendo parte da composição dos efluentes. Já os demais resíduos tóxicos, são descartados em recipientes apropriados e depois destinados adequadamente.

O tratamento dos efluentes industriais é independente do tratamento do esgoto sanitário. O despejo industrial é tratado na ETEI situada nas dependências da Empresa, enquanto o esgoto sanitário é encaminhado para a rede coletora da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

A seguir será apresentada a caracterização mais completa já realizada do efluente industrial bruto da Empresa. Esses resultados foram obtidos por meio de amostragem composta, nos dias 15, 17 e 22 de julho de 2009.

Tabela 8. Caracterização do efluente industrial bruto

Parâmetro	Unidade	Resultados Analíticos		
		15/07/09	17/07/09	22/07/09
Arsênio	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Bário	mg/L	0,304	0,138	< 0,001
Boro	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio	mg/L	0,015	0,009	0,011
Chumbo	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cianeto	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cobre	mg/L	0,01	0,009	0,036
Cromo hexavalente	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cromo total	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,009
Condutividade	µS/cm	404	344	295
DBO	mg/L	1279	908	1236
BQO	mg/L	3035	1647	1815
Estanho	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fenol	mg/L	< 0,001	0,1	0,31
Ferro Solúvel	mg/L	0,635	1,235	0,587
Fluoreto	mg/L	0,15	0,2	0,63
Manganês Solúvel	mg/L	0,013	0,018	0,023
Mercúrio	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	0,093	0,052	0,061
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 0,1	1,9	5,8
Nitrogênio Total	mg/L	64,4	37,7	62,8
Fósforo	mg/L	3,63	2,39	1,81
Óleos e graxas	mg/L	23	13	< 1
pH	mg/L	6	5	6,41
Prata	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Parâmetro	Unidade	Resultados Analíticos		
Resíduo Sedimentável	mg/L	1,2	1,8	1
Selênio	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Sulfato	mg/L	10,2	1,7	10,2
Sulfeto	mg/L	5,34	2,86	0,23
Zinco	mg/L	1,094	0,33	0,142
Sólidos totais	mg/L	1200	587	780
Sólidos totais fixos	mg/L	373	195	305
Sólidos totais voláteis	mg/L	827	392	475
Sólidos totais em suspensão	mg/L	160	10	230
Sólidos fixos em suspensão	mg/L	< 1	< 1	< 1
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	160	10	230
Sólidos totais dissolvidos	mg/L	1040	577	550
Sólidos fixos dissolvidos	mg/L	373	195	305
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	667	382	245

Fonte: Empresa, 2009.

5.3 Descrição do processo de tratamento de efluentes

Em 2012, a vazão média de efluente foi de 205 m³/d, sendo em torno de 240 m³/d a capacidade máxima da ETEI. As descargas de efluentes sofrem uma variação com o decorrer do dia, com pico entre as 6:00 e 22:00, quando a atividade industrial é mais intensa. O regime de funcionamento da ETEI é de 24 h/dia.

Como a estação está operando próximo à sua capacidade máxima, já está sendo executado o projeto de uma nova estação de efluentes da Empresa. Dessa forma, para essa estação não há previsão de aumento da vazão de efluente.

A ETEI da Empresa é composta por tratamento preliminar, tanque de equalização, sistema biológico com duas lagoas aeradas seguidas por lagoa de decantação, tratamento físico-químico por coagulação e floculação e tratamento físico-químico por oxidação avançada (processo Fenton). A seguir, serão apresentados os detalhes de cada etapa:

a) Pré-tratamento e tanque de equalização

O tratamento preliminar é composto apenas por uma peneira, para retenção de sólidos grosseiros.

O tanque de equalização possui 10 m³ e tem função de homogeneizar o efluente, principalmente com relação à carga orgânica, pH e vazão de saída. O efluente da empresa possui uma característica levemente ácida, sendo neutralizado com hidróxido de sódio. O tanque é agitado mecanicamente por um motor com agitador de pás planas.

b) Reatores aeróbios de mistura completa

O sistema conta com dois reatores aerados por aeradores superficiais, em série. O primeiro possui volume útil de 560 m³ e o segundo, 450 m³. Há, ainda, uma terceira lagoa, não aerada, com volume de 200 m³, para decantação dos sólidos.

c) Coagulação – Flocculação e decantadores

Após os reatores aeróbios, o efluente passa por um tanque de coagulação, no qual recebe cloreto férrico, sendo submetido a uma mistura rápida. Depois disso, passa por um tanque de mistura lenta, onde ocorre a flocculação, com adição de um polímero catiônico. Após a flocculação, o efluente passa por decantadores.

d) Processo Oxidativo Avançado – Fenton

Posteriormente aos decantadores do sistema de coagulação/flocculação, o efluente passa ainda por um processo oxidativo avançado (POA), com reagente Fenton, composto por cloreto férrico e peróxido de hidrogênio. Para garantir a eficiência da oxidação, é necessário um pH ácido, o que é obtido com adição de ácido sulfúrico. No final do processo, com o ferro solubilizado no efluente, é necessário aumentar o pH para que o ferro precipite na forma de hidróxido. Assim, no final dessa etapa, há adição de hidróxido de sódio.

Esse sistema conta com 4 tanques de Fenton e dois decantadores de ferro.

e) Sumidouro

Antes de ser descartado, o efluente ainda passa por correção de pH com ácido sulfúrico. Após a correção, a disposição final do efluente tratado é feita por meio de um sumidouro.

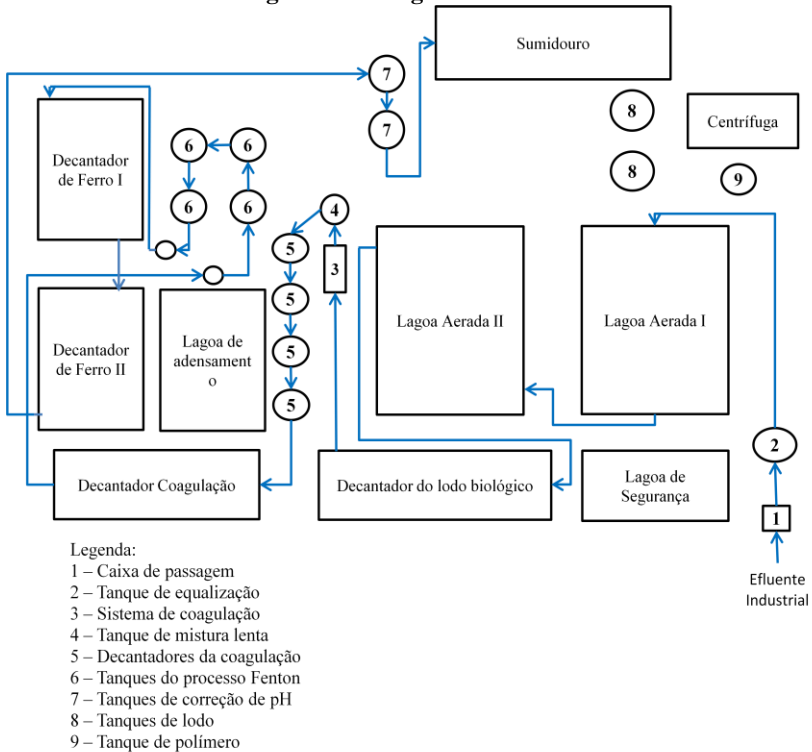
Tabela 9. Produtos químicos utilizados na ETEI

Produto Químico	Dosagem
Hidróxido de Sódio	3 ml/L
Polímero catiônico	2 ml/L
Cloreto Férrico	2 ml/L (coagulação)
	0,3 ml/L (Fenton)
Ácido Sulfúrico	0,1 ml/L
Peróxido de Hidrogênio	2 ml/L

Fonte: Autor, 2012.

O fluxograma do sistema de tratamento é demonstrado pela Figura 4.

Figura 5. Fluxograma da ETEI



Fonte: Autor, 2012.

O efluente da indústria em estudo é composto pelos produtos produzidos, matérias-primas utilizadas, reagentes laboratoriais, além dos intermediários de degradação. De acordo com a literatura, essas substâncias podem apresentar compostos refratários, não degradáveis por tratamentos biológicos convencionais e ainda, que podem levar à inibição da biomassa do tratamento secundário e ao desenvolvimento de bactérias patogênicas resistentes, no caso dos antibióticos.

Considerando os resultados das análises do efluente industrial bruto, tem-se:

Tabela 10. Avaliação da biodegradabilidade do efluente

Parâmetro	Unidade	Resultados Analíticos		
		15/07/09	17/07/09	22/07/09
DBO	mg/L	1279	908	1236
DQO	mg/L	3035	1647	1815
DBO/DQO	-	0,42	0,55	0,68

Fonte: Cálculos do Autor, 2011.

A relação $DBO/DQO > 0,5$ indica que a maior parte da matéria orgânica é biodegradável. Fazendo-se uma média dos resultados obtidos para este parâmetro, tem-se $DBO/DQO = 0,55$. Ao contrário do que diz a literatura, a maior parte do efluente da indústria farmacêutica estudada é composta por substâncias biodegradáveis, estando adequado o tratamento biológico.

No entanto, considerando a presença de antibióticos no efluente bruto, surgem duas possibilidades:

1. As bactérias presentes no efluente podem ter adquirido resistência a esses medicamentos;
2. A concentração desses compostos é baixa, não afetando o tratamento.

O fato é que, independente dos efeitos dos antibióticos no tratamento dos efluentes, esses medicamentos compõem o lodo gerado. Não se sabe quais são seus efeitos e as concentrações que podem afetar e trazer prejuízos ao meio ambiente e à saúde da população, sendo necessária, portanto, muita cautela para a aplicação desse lodo na agricultura.

5.4 Caracterização da produção de lodo

A geração do lodo se dá na etapa biológica, na coagulação/floculação e nos decantadores de ferro do processo Fenton. Na etapa biológica, o lodo do decantador é retirado a cada três meses e transferido para uma lagoa de segurança, de onde é bombeado continuamente para o tanque

de lodo. Já o lodo resultante da coagulação/floculação e do processo Fenton é transferido para uma lagoa de adensamento, e posteriormente para o tanque de lodo.

No tanque, o lodo das três etapas é misturado, passando por uma agitação para proporcionar uma maior homogeneidade à mistura, como preparação para o desaguamento.

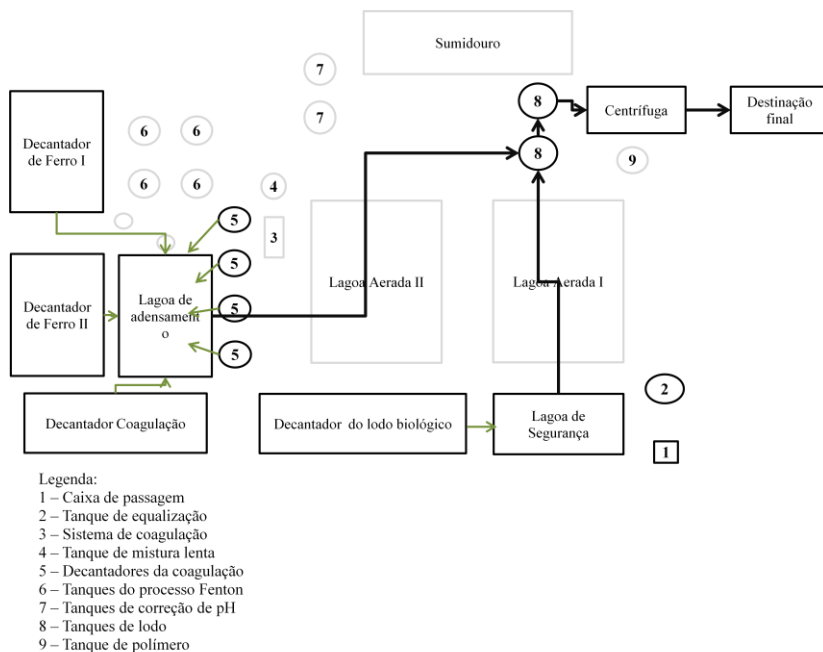
Após esse tanque, o lodo passa por um processo de desaguamento mecânico por meio de uma centrífuga, na qual recebe a adição de um polímero catiônico proveniente de um tanque de polímero, proporcionando uma melhor captura de sólidos. Posteriormente, ocorre a separação das fases sólida - líquida, decorrente da diferença de densidade entre a partícula e o líquido que a envolve.

No desaguamento, há uma redução entre 80 a 90% de volume do lodo proveniente do tanque, e o lodo resultante sai com uma concentração em torno de 15% de sólidos. A média mensal da geração de lodo, de janeiro a maio de 2012, foi de 22,5 toneladas.

Após a etapa de centrifugação, o lodo é despejado em um contêiner e recolhido por uma empresa responsável pelo co-processamento e disposição final. O líquido proveniente do desaguamento retorna ao tratamento, através da lagoa aerada.

Segundo análises de classificação realizadas por laboratório especializado, o lodo gerado pela Empresa é enquadrado na Classe II da ABNT NBR nº 10.004 de 2004, ou seja, não perigoso. A figura 5 demonstra as etapas em que o lodo é gerado, bem como indica as etapas de transferência de lodo até a disposição final na ETE.

Figura 6. Etapas de geração e transferência de lodo



Fonte: Autor, 2012.

Para estimar a área necessária para aplicação do lodo no solo deve-se considerar a produção de matéria seca de lodo e a taxa média de aplicação. Considerando-se a concentração de sólidos resultante, nessa indústria são geradas aproximadamente 3,4 toneladas de matéria seca de lodo por mês. Adotando-se uma taxa média de aplicação de 6 toneladas de matéria seca de lodo por hectare, tem-se:

$$\text{Área necessária (ha)} = \frac{3,4 \text{ t/mês}}{6 \text{ t/ha}} = 0,57 \text{ ha/mês}$$

Para este estudo, será considerada uma área necessária de 1 hectare por mês para a aplicação do lodo.

Quanto à aptidão das terras da região para a aplicação de biossólidos, a região Oeste do Paraná possui solos enquadrados na Classe I, ou seja, com potencial muito alto para uso de biossólidos (conforme a Figura 2). Esse é um ponto favorável à implementação do plano, pois há disponibilidade de terras para aplicação de lodo nas

proximidades do centro gerador, minimizando os custos e outras questões relacionadas ao transporte.

Conforme exposto na revisão bibliográfica, para se optar pela reciclagem agrícola, o lodo deve ser submetido a análises de qualidade quanto a substâncias orgânicas e inorgânicas, estabilidade, indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e potencial agrônomo. Caso as análises indiquem limites superiores aos permitidos pela legislação, é necessário submeter o lodo a um tratamento para adequá-lo aos parâmetros estabelecidos.

Com relação aos metais pesados e às substâncias orgânicas, não existem métodos viáveis para removê-los do lodo. A melhor alternativa é a prevenção na fonte, analisando a origem desses compostos para eliminar sua utilização. Se não for possível, deverá ser estudada outra forma de destinação final do lodo.

Para adquirir a estabilidade, o lodo pode passar por processos de digestão anaeróbia ou aeróbia, tratamento químico, compostagem ou secagem térmica. Como o lodo em estudo tem origem a partir de uma lagoa aerada, sem recirculação de lodo, e de tratamentos físico-químicos, processos caracterizados por gerarem lodo não estabilizado, ele deve ser submetido a algum desses processos.

O lodo gerado não tem procedência de esgoto doméstico, estando livre da presença de microrganismos patogênicos. Portanto, não há necessidade de ser higienizado.

Já quanto ao potencial agrônomo, deve ser feita uma análise considerando-se as características do lodo, do solo e das culturas em que será aplicado. Caso o conteúdo de nutrientes não atenda às necessidades das culturas, poderá ser feita uma complementação com adubo mineral.

É importante destacar que este trabalho foi baseado na Resolução SEMA nº 021 de 2009, que estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário. Embora essa Resolução não seja aplicável a lodo de estação de tratamento de efluentes industriais, ela foi utilizada como referência por não existir, no Brasil, legislação desse âmbito para a indústria.

A inexistência de uma norma para reciclagem agrícola de lodo industrial pode ser justificada pela peculiaridade de cada indústria, cujos serviços e/ou processos produtivos geram efluentes e, conseqüentemente lodos, com características físicas, químicas e/ou biológicas específicas a cada indústria e qualitativamente diferentes dos efluentes domésticos.

As águas residuárias domésticas, em geral, têm características em comum, pois são provenientes de lavatórios, vasos sanitários, chuveiros, pias de cozinha, ou seja, de uso para higiene e necessidades fisiológicas.

Dessa forma, a legislação para esgoto doméstico prevê todos os poluentes que podem estar presentes no lodo doméstico.

Já as águas residuárias industriais podem ter as mais diversas origens e conter uma infinidade de substâncias poluentes que não estejam previstas na legislação para esgoto doméstico.

Diante disso, deve-se ter cautela na aplicação dessa lei para o lodo industrial, pois nele podem estar presentes contaminantes não previstos pela resolução e que representem riscos ao meio ambiente. As informações quanto aos efeitos dos compostos farmacêuticos no meio ambiente são escassas e ainda não existem regulamentações quanto a esses produtos em efluentes.

Dessa forma, é necessário se ter muito cuidado com a disposição do lodo em questão no solo sem um estudo mais aprofundado das substâncias que o compõem e de seus metabólitos, suas concentrações no lodo e seus efeitos no solo, prevenindo, assim, maiores problemas ambientais. Sugere-se que sejam realizadas as análises para os parâmetros já previstos e, ainda, que seja avaliada cuidadosamente cada substância que possa fazer parte da composição do efluente e do lodo.

5.5 Análise de viabilidade

Além dos fatores sanitários e ambientais, o custo também é um fator importante na escolha pela disposição agrícola do lodo, pois indica a viabilidade econômica do programa.

Os custos envolvidos no planejamento da reciclagem agrícola de biossólidos são referentes ao projeto agrônomo, ao transporte, distribuição e incorporação do lodo e às análises de caracterização e monitoramento.

5.5.1 Projeto Agrônomo

Para o levantamento de custos com projeto agrônomo, consultou-se a Tabela de Honorários Profissionais para o Engenheiro Agrônomo, da Federação dos Engenheiros Agrônomos do Paraná, considerando que serão necessários, para a elaboração do projeto, investimentos iniciais com:

- Projeto agrônomo: nessa tabela não consta o valor para esse tipo de projeto. Sendo assim, considerou-se o valor para a elaboração de projeto agro-industrial.
- Levantamento de uso e aptidão de solos e levantamento pedológico detalhado: adotou-se o valor mínimo da tabela.
- Levantamento de uso atual do solo e cobertura florestal: também se levou em o valor mínimo da tabela.

- Levantamento e elaboração de cadastro técnico-econômico de produtor rural: para esse levantamento foi considerado que serão necessárias 8 horas técnicas do agrônomo.

Assim, os gastos iniciais com o projeto agrônomo serão conforme a tabela 11:

Tabela 11. Custos iniciais

Etapas	Valor (R\$)
Projeto agrônomo	700,00
Levantamento de uso e aptidão de solos	300,00
Levantamento de uso atual e cobertura florestal (Planimétrica + Altimétrica)	750,00
Levantamento e elaboração de cadastro técnico-econômico de produtor rural	416,00
Total	2.166,00

Fonte: Tabela da Federação dos Engenheiros Agrônomo do Paraná, 2008.

Também haverá necessidade de atividades periódicas do engenheiro agrônomo na execução do projeto agrônomo, como:

Assistência técnica/assessoria em nível de empresa/propriedade rural: adotou-se o valor mínimo e a necessidade de assistência mensal.

Monitoramento de fertilidade do solo: considerou-se que serão necessárias 4 horas mensais do agrônomo para essa atividade.

Análise e amostragem de solo e compactação: também se considerou que serão necessárias 4 horas mensais do agrônomo.

Os custos referentes à execução do projeto estão resumidos na tabela 12:

Tabela 12. Custos de execução do projeto agrônomo

Etapas	Valor (R\$)
Assistência técnica / Acessoria em nível de empresa	80,00
Monitoramento de fertilidade do solo	208,00
Análise e amostragem de solo	208,00
Total	496,00

Fonte: Tabela da Federação dos Engenheiros Agrônomo do Paraná, adaptado com cálculos do autor, 2012.

5.5.2 Transporte

Para o levantamento dos custos com transporte referentes à distância, consultou-se o Sistema de Informações de Fretes para Cargas Agrícolas – SIFRECA, tendo como referência, na falta de informações relacionadas ao transporte de bio sólidos, o transporte de fertilizantes entre as cidades de Araucária (PR) e Cascavel (PR). Segundo esse sistema, o custo com o transporte de fertilizantes entre essas duas cidades é de R\$ 0,0849/t.km.

Como existem terras aptas para receberem lodo de esgoto nas proximidades ao centro gerador do lodo, foi calculado o custo do transporte levando-se em conta uma distância de 60 km. Dessa forma, o custo com transporte será de R\$ 5,10/tonelada ou R\$ 114,75 por mês.

5.5.3 Custos com distribuição e incorporação

Segundo levantamento realizado por Canziani *et al* (1999), os custos com distribuição e incorporação do lodo no solo foi estimado em R\$ 1,48/tonelada, considerando-se a disponibilidade dos equipamentos necessários.

Para este trabalho foi utilizado esse valor, com reajuste baseado no IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo, considerado a inflação oficial do país, para o período de junho de 1998 a junho de 2012. O valor obtido foi de R\$ 3,52/tonelada. Portanto os gastos mensais serão de R\$ 79,20.

Para o cálculo desse valor utilizou-se a calculadora do cidadão, disponível no site do Banco Central do Brasil.

Figura 7. Calculadora do cidadão

Resultado da Correção pelo IPCA-E (IBGE)

Dados básicos da correção pelo IPCA-E (IBGE)	
Dados informados	
Data inicial	06/1998
Data final	06/2012
Valor nominal	R\$ 1,48 (REAL)
Dados calculados	
Índice de correção no período	2,3758049
Valor percentual correspondente	137,5804900 %
Valor corrigido na data final	R\$ 3,52 (REAL)

Fonte: Banco Central do Brasil

5.5.4 Análises e monitoramento

Conforme orçamento solicitado a um laboratório especializado, o custo de uma análise de lodo é de R\$ 2.900,00. Para caracterização inicial do lodo, de acordo com a legislação são necessárias cerca de 15 análises, em 3 meses. Já para o monitoramento, considerando uma produção anual de cerca de 270 ton/ano, a cada 3 meses deverão ser realizadas novas análises.

Dessa forma, para caracterização inicial serão gastos R\$ 43.500,00. Com monitoramento, serão gastos R\$ 2900,00 a cada três meses, ou R\$ 966,67 mensais.

5.5.5 Custos totais para o uso agrícola do lodo de esgoto

A tabela 13 demonstra os custos com investimento inicial para a implementação do plano. Já a tabela 14 discrimina os gastos mensais envolvidos, conforme calculado nos itens anteriores.

Tabela 13. Investimentos iniciais na implementação do plano para reciclagem agrícola

INVESTIMENTO INICIAL		
	Discriminação	Valor (R\$)
Elaboração do Projeto Agrônômico	Projeto agrônômico	700,00
	Levantamento de uso e aptidão de solos	300,00
	Levantamento de uso atual e cobertura florestal (Planimétrica + Altimétrica)	750,00
	Levantamento e elaboração de cadastro técnico-econômico de produtor rural	416,00
	Total	2.166,00
Caracterização inicial	Análises iniciais	43.500,00
	Total	43.500,00
TOTAL GERAL		45.666,00

Fonte: Cálculos do autor, 2012.

Tabela 14. Gastos mensais com a execução do plano

Gastos mensais		
	Discriminação	Valor (R\$)
Execução do Projeto Agrônômico	Assistência técnica / Acessoria em nível de empresa	80,00
	Monitoramento de fertilidade do solo	208,00
	Análise e amostragem de solo	208,00
	Total	496,00
Transporte	Distância 60 km	114,75
	Total	114,75
Aplicação do lodo	Distribuição e incorporação	79,20
	Total	79,20
Monitoramento	Análise	966,67
	Total	966,67
	TOTAL GERAL / mês	1.656,62
Total por tonelada		73,63

Fonte: Cálculos do autor, 2012

Dessa forma, para a implementação do plano serão necessários cerca de R\$ 46.000,00 de investimento inicial e gastos da ordem de R\$ 75,00.

5.5.6 Avaliação de viabilidade

Atualmente, a Empresa gasta R\$ 150,00 por tonelada de lodo com transporte e destinação final, o que indica que, em termos de gastos mensais, a reciclagem agrícola se mostra uma opção viável, com economia de R\$ 75,00 por tonelada, ou seja, 50% do valor atual. Considerando a produção de 22,5 toneladas por mês, representa uma economia de R\$ 1.687,5, conforme os cálculos abaixo:

$$(150,0 - 75) \times 22,5 = 1.687,50$$

No entanto, há necessidade de investimentos iniciais da ordem de R\$ 46.000,00. Considerando uma economia de 1.687,5 por mês, em 2 anos e 3 meses esse projeto passará a ter retorno do investimento. A tabela

Tabela 15. Resumo da viabilidade econômica do plano

Gastos atuais	R\$ 150,00/ton
Gastos previstos com o plano	R\$ 75,00/ton
Investimento inicial do plano	R\$ 46.000,00
Economia com o plano	R\$ 75,00/ton
Economia média mensal com o plano	R\$ 1.687,50
Retorno do Investimento	2 anos e 3 meses

Fonte: Autor, 2012.

Cabe ressaltar que, para a avaliação de viabilidade, foi realizada uma estimativa das despesas, considerando-se os principais gastos envolvidos, que são com relação ao transporte, ao projeto agrônomo e às análises de caracterização inicial e de monitoramento. No entanto, é importante que sejam realizadas algumas considerações quanto ao resultado obtido.

Nesse cálculo, não foram consideradas as despesas com técnicos envolvidos no processo de operação do plano, mas apenas os valores referentes ao engenheiro agrônomo.

A estimativa dos custos com transporte foi baseada em um valor por tonelada de carga transportada entre duas cidades distantes 500 km uma da outra. Para distâncias menores, a tendência é que esse valor aumente. Além disso, esse cálculo considerou apenas as despesas

relacionadas à distância percorrida, não sendo previstos os custos relacionados ao tipo de transporte.

Quanto ao cálculo das despesas com distribuição e incorporação, na falta de maiores informações, baseou-se em um trabalho realizado em uma ETE com uma produção de lodo cerca de 100 vezes maior do que a produção da ETEI em estudo. A tendência é que o valor por tonelada para menores quantidades também seja maior.

Além disso, não foram considerados os custos com monitoramento da qualidade do solo, pois a legislação não indica uma frequência de monitoramento periódica como para o lodo. O monitoramento de substâncias orgânicas no solo, por exemplo, deverá ser realizado sempre que essas substâncias forem detectadas na caracterização do lodo, sendo, portanto, difícil de prever.

Diante do exposto, conclui-se que o valor levantado é apenas uma estimativa e não uma demonstração da realidade. Apesar disso, por mais que economicamente essa alternativa não seja mais viável do que a destinação atual e, caso sejam comprovados seus benefícios ambientais e sanitários, deve-se considerar outras vantagens como um controle total sobre a atividade. Devem-se considerar também os possíveis benefícios ao agricultor decorrentes dessa prática, como o aumento da produtividade. Com isso, alguns dos custos envolvidos podem ser transferidos ao produtor rural, como os relacionados à distribuição e incorporação do lodo no solo.

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral do trabalho, que foi elaborar um plano para reciclagem agrícola de uma indústria farmacêutica, foi atingido. No entanto, a implementação desse plano deve ser vinculada a estudos de análise de viabilidade ambiental, jurídica e econômica do projeto.

Para o lodo da Empresa em estudo não foi possível a comprovação de sua adequação ambiental, uma vez que essa deve ser atestada por meio de análises laboratoriais de qualidade. Mas, de acordo com a avaliação preliminar do lodo a partir do processo produtivo e das matérias-primas utilizadas, conclui-se que esse lodo não se enquadra nos limites permitidos e deva passar por processos de adequação.

Além disso, não existe legislação para utilização agrícola de lodo industrial e são escassas as informações quanto aos efeitos dos medicamentos e outros compostos farmacêuticos nos efluentes e no meio ambiente. Assim, são necessários mais estudos quanto à presença e à concentração de componentes no lodo que podem ser perigosos e tóxicos à saúde da população e ao meio ambiente.

Já considerando fatores econômicos, para a indústria em questão, essa técnica é viável, uma vez que representará para empresa uma economia de R\$ 75,00 por tonelada de lodo gerado. No entanto, será necessário um investimento inicial de cerca de R\$ 46.000,00, mas que passará a ter retorno após 2 anos e 3 meses da implementação do plano. Apesar disso, alguns fatores não foram considerados, o que pode aumentar as despesas mensais.

Além da viabilidade econômica, e desde ambientalmente adequada, a implementação da reciclagem agrícola pode se justificar pelo fato de que a Empresa poderá exercer total controle sobre a atividade, atestando sua adequação, ao contrário da realidade atual, já que a destinação final é realizada por uma empresa terceirizada. Isso é de grande importância, pois, legalmente, o gerador de resíduo tem responsabilidade por qualquer dano que seja provocado pelo gerenciamento inadequado dos resíduos, independente da contratação ou não de serviços de gerenciamento. Portanto, a operação da atividade pela própria Empresa facilita a execução de medidas de prevenção e correção da poluição, e garante rastreabilidade ao programa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004. 71 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.007. Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro . 2004. 21 p.

ALMEIDA, E. et al. **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio**. Química Nova, Campinas, v. 27, n. 5, p.818-824, 06 jul. 2004.

ANDREOLI, C. V; FERREIRA, A. C. **Capítulo 3: Riscos Associados ao uso do lodo**. In: Andreoli, C. V. (Coord.). Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba: SANEPAR, PROSAB, 1999.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. **Capítulo 8: Disposição do lodo no solo**. In: ANDREOLI, C.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. p 310-396.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Capítulo 1: Introdução**. In: ANDREOLI, C.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001. p 13-16.

BENTO, A. P; HOFFMANN, H. **Capítulo IV.2.: Reatores e Processos**. In: BENTO, A. P; HOFFMANN, H. Tratamento biológico de águas residuárias. Florianópolis: Editora Tribo da Ilha, 2007, v. 1. p. 331-332.

BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. In: LODO de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2006. 347p.

BRAILE, P. M. CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, CETESB, 1979.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada nº 210 de 04 de agosto de 2003**. Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Banco Central. **Calculadora do Cidadão**. Disponível em: <<http://www.bc.gov.br/?calculadora>>. Acesso em: 02 jul. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 375 de 29 de Agosto de 2006**. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21**. Brasília, DF, 1992.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Comissão Nacional de Classificações – CONCLA. Disponível em: <http://www.cnae.ibge.gov.br/classe.asp?codclasse=21238&codgrupo=212&CodDivisao=21&CodSecao=C&TabelaBusca=CNAE_200@CNAE2.0@0@cnae@0>. Acesso em: 26 jul. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem observados em todo o território nacional. Brasília, DF, 1990.

CANZIANI, J. R. F. et al. **Análise econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém**. Sanare: Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v. 11, n. 11, p.9-12, jul. 1999. Semestral.

FEDERAÇÃO DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DO PARANÁ. **Tabela dos honorários profissionais para o engenheiro agrônomo**. Curitiba, 2008. 60 p.

FERNANDES, F.; LOPES, D. D.; ANDREOLI, C. V.; SILVA, S. M. C. **P. Capítulo 7: Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE**. In: ANDREOLI, C.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.

(Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final: Belo Horizonte: Belo Horizonte, 2001. p 299-317.

FERREIRA, A. S. *et al.* **Seção IX – Poluição do solo e qualidade ambiental: alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p.755-763, 2003.

FREIRE, R. S. *et al.* **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Química Nova, Campinas, v. 23, n. 4, p.504-511, 04 jan. 2000.

HAANDEL, A. V.; SOBRINHO, P. A. **Capítulo 2: Produção, composição e constituição de lodo de esgoto.** In: ANDREOLI, C. V (Coord.). Usos alternativos de lodos de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgotos. Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Curitiba: PROSAB, 2006. p. 7-28.

LOPES, L.F.; COSTA, C.S.; D'OLIVEIRA, P.S.; GIL, L.G. **Utilização agrícola de lodo industrial como fonte de zinco na cultura do crisântemo.** Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.3, p.620-623, jul-set 2004.

MASCOLO, G. *et al.* **Biodegradability of pharmaceutical industrial wastewater and formation of recalcitrant organic compounds during aerobic biological treatment.** Bioresource Technology. Bioresource Technology. v. 101, p 2585-2591, 2010.

MORAIS, L. C. P. **Avaliação da tratabilidade de efluentes da indústria de curtumes por oxidação química e biológica.** 2005. 293 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2005.

NETTO, E. R. **Gerenciamento ambiental na indústria: prevenção da poluição e redução de resíduos. O caso da indústria farmacêutica.** 2002. 192 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, UERJ, Rio de Janeiro, 2002.

PARANÁ. **Lei Estadual nº 12.493 de 22 de Janeiro de 1999**. Curitiba, 1999.

PARANÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Resolução nº 01 de 11 de janeiro de 2007**. Curitiba, 2007.

PARANÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Resolução nº 021 de 22 de abril de 2009**. Curitiba, 2007.

PEGORINI, Eduardo Sabino. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 236 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Departamento de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2002.

PERALTA-ZAMORA, P. et al. **Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose: Tratamento biológico e fotocatalítico**. Química Nova, Campinas, v. 20, p.186-190, 1997.

PINTO, M. T. **Capítulo 6: Higienização de lodos**. In: ANDREOLI, C.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final: Belo Horizonte: Belo Horizonte, 2001. p 261-318.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades da reciclagem dos resíduos de tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo**. 2003. 282 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, USP, São Paulo, 2003.

SANTOS, H. F. **Capítulo 10: Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil**. In: ANDREOLI, C.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final: Belo Horizonte: Belo Horizonte, 2001. p. 423-461.

SILVA, S. M. C. P. et al . **Capítulo 3: Principais contaminantes do lodo**. In: ANDREOLI, C.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. (Ed.). Lodo de esgotos: tratamento e disposição final: Belo Horizonte: Belo Horizonte, 2001. p 69-121.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES PARA CARGAS AGRÍCOLAS. **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.** USP (São Paulo). Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/assinaturas.php>>. Acesso em: 02 jun. 2012.

SOUZA, M. L. P. *et al.* **Aptidão das terras do estado do Paraná.** Revista Dae. Curitiba, v. 177, n. , p.20-29, maio 2008.

SPERLING, M. V. **Capítulo 4: Níveis, processos e sistemas de tratamento de esgotos.** In: SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p. 249-337.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 12, n. 3, p.223-230, 2008.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p.261-269, 01 mar. 2005.

TSUTIYA, M. T. **Capítulo 4: Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos.** In: TSUTIYA, M. T. et al (Ed.). Biossólidos na agricultura. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p. 89-132.

UNITED STATES. U.S. E.P.A. United States Environmental Protection Agency. **Nutrient Management and Fertilizer: Fertilizers Made From Domestic Septage and Sewage Sludge (Biosolids).** Disponível em: <<http://www.epa.gov/agriculture/tfer.html>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

UNITED STATES. U.S. E.P.A. United States Environmental Protection Agency. **Profile of the Pharmaceutical Manufacturing Industry.** Washington, DC, 1997. 157 p.

VASCONCELOS, O. M. S. R. **Degradação do antibiótico amoxicilina em efluente de indústria farmacêutica.** 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e

Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2011.

Wikipedia. **Mesorregião do Oeste Paranaense**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Mesorregi%C3%A3o_do_Oeste_Paranaense>. Acesso em: 20 jul. 2012.

**ANEXO I – PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS NA
INDÚSTRIA FARMACÊUTICA EM ESTUDO**

2 - Aminoheptano
3,4 - dimetaxibenzaldeído 99%
3,4 - Dimetoxibenzílico
4 - Cloro - 3 - metilfenol 99%
Acetato de amônia
Acetato de chumbo
Acetato de Etila
Acetato de sódio anidro
Acetato de sódio triidratado
Acetona
Acetonitrila
Ácido acético glacial
Ácido cítrico monoidratado
Ácido clorídrico
Ácido fórmico
Ácido glicólico 65% puro
Ácido nítrico
Ácido nítrico fumegante
Ácido perclórico
Ácido sulfâmico
Ácido sulfânico
Ácido sulfídrico
Ácido sulfúrico
Ácido tartárico
Ácido tioglicólico
Ácido tricloacético
Álcool Benzílico
Álcool Butílico
Álcool Butílico normal (1-Butanol)

Álcool Butílico terciário
Álcool etílico absoluto
Álcool isopropanol
Álcool Isopropílico
Álcool metílico
Álcool propílico normal
Amarelo de dimetil
Amido solúvel
Aminoheptano
Anidrido acético
Azul de bromocresol
Azul de bromofenol
Azul de bromotimol
Azul de hidroxinaftol
Azul de tetrazólio cloreto
Benzeno
Bióxido de manganês
Bis (2-etilexil) sulfosuccinato de sódio
Borato de potássio
Borato de sódio
Bromato de potássio
Brometo de potássio
Cádmio
Carbonato de amônia anidro
Carbonato de cálcio
Carbonato de lítio
Carbonato de potássio anidro
Carbonato de sódio
Carvão ativo em pó
Cicloexano
Citrato de sódio tribásico diidratado

Cloramina T
Cloreto de alumínio
Cloreto de amônio
Cloreto de bário
Cloreto de benzenosulfonila
Cloreto de cálcio
Cloreto de magnésio
Cloreto de Metileno
Cloreto de potássio
Cloreto de sódio
Cloreto estanoso
Clorofórmio
Cromato de potássio
Dicloroetano
Dicromato de potássio
Dietilamina
Dietilaminobenzaldeído 99%
Dietilcarbamato de prata
Dimetilformamida
Dimetilsulfóxido
Diocil sulfosuccionato de sódio
Dioxano
Dióxido de manganês
DL-N-Butilamina
EDTA dissódico
Etanol
Éter de petróleo
Éter etílico
Etilenodiamida
Fenoltaleína
Formaldeído

Formamida
Fosfato de potássio monobásico
Fosfato de sódio dibásico anidro
Fosfato de sódio monobásico
Fosfato de sódio tribásico anidro
Fosfato de sódio tribásico dodecaidratado
Glicerina bidestilada
Glicose
Gluconato de cálcio
Hexahidroxiantimonato de potássio
Hexano
Hidróxido de amônia
Hidróxido de cálcio
Hidróxido de potássio
Hidróxido de sódio
Iodato de potássio
Iodeto de potássio
Iodeto de terabutylamônio
Iodo
Mercúrio
Metil isobutil cetona
N (1-naftil) etilendiamina
Naftaleno
Nitrato de amônia
Nitrato de chumbo
Nitrato de cobalto
Nitrato de lítio
Nitrato de óxido de bismuto
Nitrato de prata
O-Fenantrolina
Orto fenantrolina

Oxalato de amônia
Óxido de fósforo
Óxido de magnésio
Pancreatina
Pentano
Pepsina
Peróxido de hidrogênio
Piridina
P-Naftol benzeno
Resorcinol
Sílica gel azul
Solução cloreto de potássio
Solução Nessler
Solução padrão 20 ppm Li
Solução padrão 20 ppm sódio, potássio, cálcio
Sulfato de cério
Sulfato de cobre
Sulfato de cobre pentaidratado
Sulfato de magnésio
Sulfato de magnésio
Sulfato de potássio
Sulfato de sódio anidro
Sulfato de zinco
Sulfato ferroso amoniacal
Tioacetamina
Tiocianato de amônia
Tiosulfato de sódio
Tolueno
Tricloroetileno
Trietanolamina
Trietilamina

Trimetilpentano
Trióxido de arsênio
Tris(Hidroximetil) amino metano
Verde de Bromocresol
Vermelho de fenol
Vermelho de metila
Xileno
Zinco em pó